



## **ANALISI BIOMECCANICA QUALITATIVA, SU BASE QUANTITATIVA, DELLA CORSA DI SOGGETTI IN ETÀ EVOLUTIVA**

**Paolo Cambone**, *Insegnante di Educazione Fisica, Laboratorio di Biomeccanica,  
ISEF di Roma*

### **1. Scopo della ricerca**

Nel compiere questa ricerca ci siamo proposti di:

— verificare quanto da diversi autori è stato affermato circa elementi e caratteristiche del gesto motorio della corsa di soggetti in età evolutiva, anche in relazione alle loro modificazioni nel soggetto adulto;

— cercare di stabilire come, in base a quali parametri e quali elementi, sia possibile parlare di coordinazione nella corsa, quale esempio base — in quanto tra i più naturali — per tutta la motricità umana.

### **2. Riferimenti bibliografici**

La premessa di carattere bibliografico ha cercato di riassumere i concetti e le osservazioni più salienti che abbiamo potuto rilevare nella pubblicistica italiana riguardo il gesto motorio della corsa, sia per modelli in età evolutiva sia per modelli adulti. Gli autori che abbiamo ritenuto di dover prendere in considerazione, dopo una preliminare opera di vaglio cir-

ca l'originalità delle affermazioni, sono: K. Meinel, L. Calabrese, F. Merni, L. Coppini e L. Magenti, N. Bernstein, C. Bosco, C. Vittori ed E. Matteucci, D. D. Donskoj e V. M. Zatziorskij, G. H. Dyson, G. Hochmuth.

### **3. Materiale e metodo della ricerca**

Il nostro studio, compiuto presso il Laboratorio di Ricerche Biomeccaniche dell'I.S.E.F. di Roma, consiste nell'analisi computerizzata di filmati appositamente realizzati dal prof. A. Manoni e coll., relativamente al gesto motorio della corsa in soggetti in età evolutiva; si tratta di alunni di 7 anni, maschi, di una scuola elementare di Anzio, scelti in un gruppo di coetanei, scartando tutti coloro i quali, per effetto di frequenze a corsi di avviamento a qualche disciplina ludico-sportiva, potessero averne avuto un condizionamento.

I tre soggetti sono stati denominati come Corsa M E, M F ed M G, in base ad un codice utile alla catalogazione di tutto

il materiale filmato nella stessa occasione.

I filmati utilizzati nel presente studio sono stati realizzati con una cinepresa MEKEL SP1 Super 8, ad una velocità di ripresa di 50 fot/sec, posta a 0.80 m da terra e distante 18 m circa dal soggetto, nella fase da noi analizzata, fornendo una ripresa laterale della stessa.

L'analisi del filmato è relativa ad ogni fotogramma della sequenza ed è stata condotta per mezzo di un dispositivo elettronico, un DIGITIZER della Numonics Corporation, in grado di misurare esattamente le coordinate di tutti i punti chiave sul corpo del soggetto analizzato.

Nel nostro caso, le coordinate dei punti di repere sono considerate con origine (punto con  $x = 0$  e  $y = 0$ ) sulla linea di terra ed alla sx dell'esecutore, (in modo che tutti i valori di ascisse e ordinate siano positivi).

Della complessiva ripresa di ogni soggetto è stato analizzato un numero di fotogrammi che comprendesse un'azione completa di corsa, in particolare, dal momento in cui il baricentro corporeo si trova sulla perpendicolare all'appoggio del piede sx, allo stesso momento dell'azione di corsa successiva.

#### 4. Presentazione dei dati

Abbiamo ritenuto utile ed interessante, in base allo scopo della nostra ricerca, l'analisi dei seguenti parametri:

1. per la velocità dei punti di repere:
  - gomito (sx e dx),
  - ginocchio (sx e dx),
  - caviglia (sx e dx);
2. per la velocità dei centri di gravità:
  - coscia (sx e dx),
  - C.G.G.
3. per gli angoli dei segmenti:
  - A.O.C.
4. per gli angoli fra i segmenti:
  - gomito (sx e dx),
  - ginocchio (sx e dx),
  - caviglia (sx e dx),
  - tronco/coscia (sx e dx).

#### 5. Analisi dei dati

Nell'analizzare i diagrammi, costruiti sulla base dei valori quantitativi espressi dai soggetti studiati, si è fatto continuo riferimento al Cinegramma Schematico (Fig. 1), riprodotto la sequenza schematica separata, fotogramma per fotogramma, dell'intero gesto motorio analizzato. I cinegrammi schematici sono stati elaborati dal computer e disegnati da un plotter; senza di essi sarebbe stato meno immediato riportare al reale quanto si andava «leggendo» sul diagramma.

Su ogni grafico abbiamo riportato i valori quantitativi relativi ai tre soggetti, per ogni singolo elemento da analizzare, in quanto il nostro interesse primario non era lo studio delle peculiarità motorie del singolo, bensì la ricerca di qualcosa che fosse valido per tutti, cioè per i bambini di 7 anni.

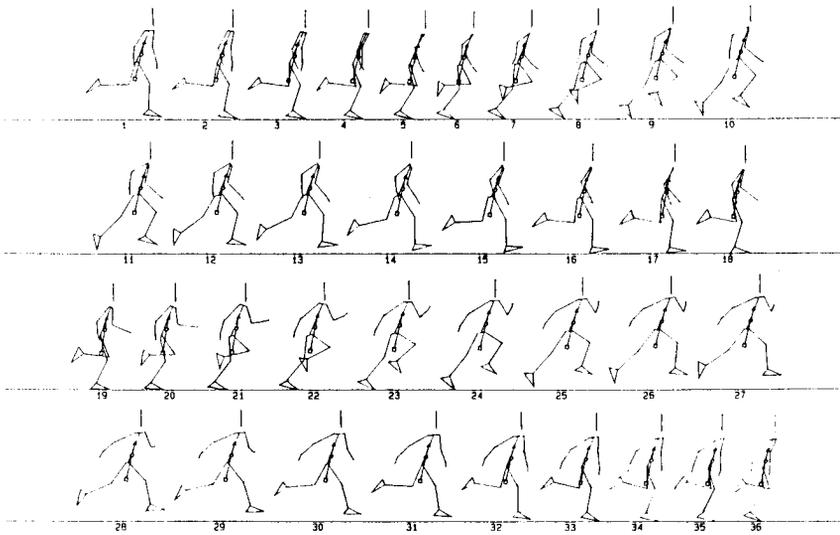
E' infine da considerare che il soggetto denominato M E presenta un'azione a livello della caviglia sx, con appoggio unicamente di avampiede (Fig. 1a, fott. 3-9), a differenza della «rullata» degli altri due e del suo stesso appoggio dx, dipendente essenzialmente dagli esiti di un trauma pregresso ivi localizzato. Al termine dell'analisi dei nostri diagrammi, abbiamo inoltre preso in esame il Percorso Geometrico del C.G.G. e dell'A.O.C. (Fig. 2), che il plotter è stato in grado di rappresentarci perfettamente.

#### Legenda di abbreviazioni e simboli usati nel testo

A.I.	=	arto/i inferiore/i
A.S.	=	arto/i superiore/i
A.O.C.	=	asse di orientamento del corpo
C.G.G.	=	centro di gravità generale
dx	=	destro
sx	=	sinistro
fot/sec	=	fotogrammi al secondo
m	=	metri
°	=	gradi sessagesimali

CORSA M E - CINEGRAMMA SCHEMATICO

a)



CORSA M F - CINEGRAMMA SCHEMATICO

b)

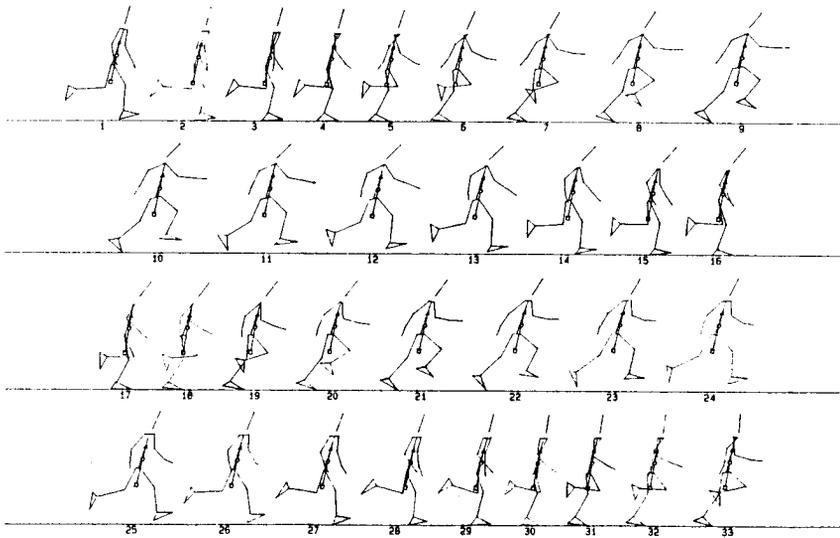
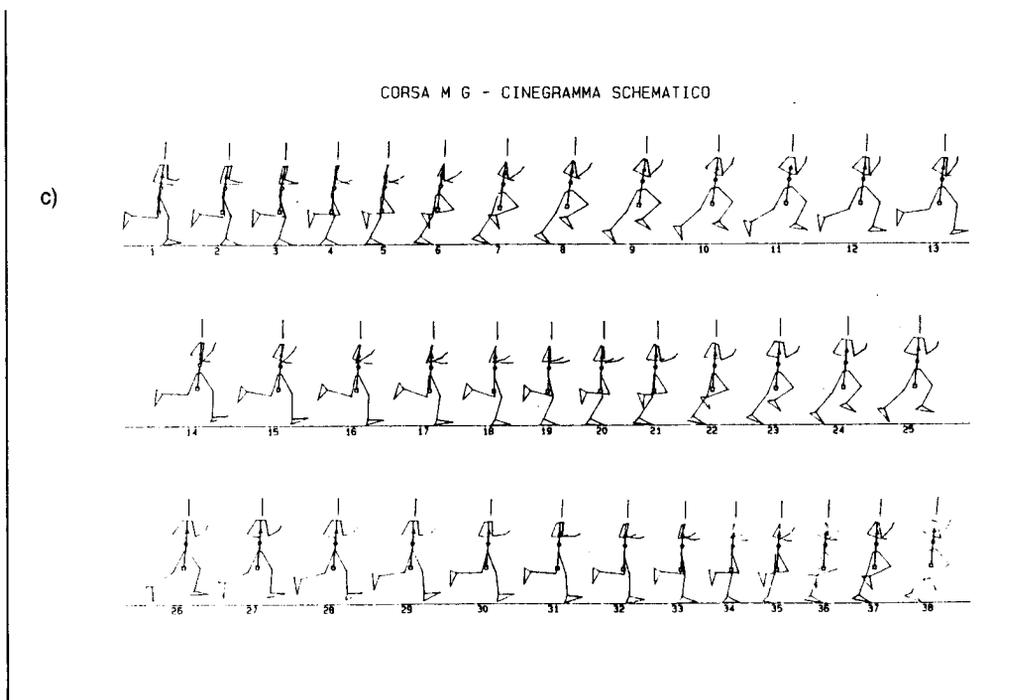


Fig. 1



## 6. Conclusioni

In base a quanto espresso nello scopo della ricerca, abbiamo rilevato interessanti risposte ai nostri interrogativi.

Il contatto col suolo mediante il tallone (Fig. 1a, fott. 16; Fig. 1b, fott. 3, 15 e 28; Fig. 1c, fott. 1, 17 e 31), presente praticamente sempre (ricordando il problema fisico di M E che condiziona il suo appoggio sx di avampiede), nel nostro studio, sembra contrastare con quanto espresso, in percentuali diverse, dal Meinel e da Merni, Coppini e Magenti.

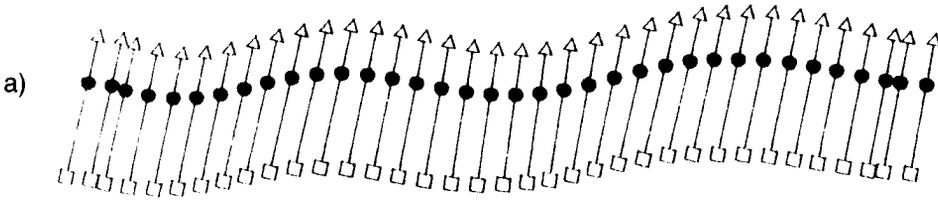
Non ci sentiamo d'accordo, sempre sulla base dei nostri risultati, sia col Calabrese, sia con Merni, Coppini e Magenti, per due diverse ragioni, circa l'angolo che si riscontra posteriormente al ginocchio, al termine della spinta.

Dall'immagine tratta dal testo del Calabrese (vedi «L'apprendimento motorio tra i 5 e i 10 anni», in Bibliografia), si rileva un'estensione della gamba sulla coscia nettamente inferiore a quanto riscontrato nella nostra analisi quantitativa.

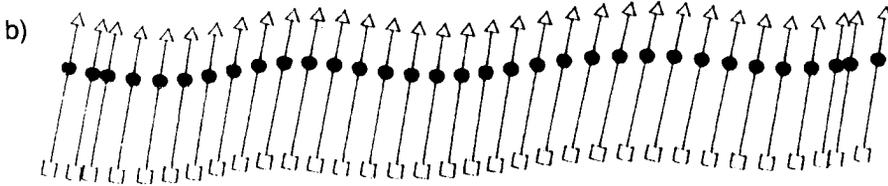
D'altro canto, nessuno dei soggetti da noi analizzati ha raggiunto un angolo di  $180^\circ$ , come invece si sarebbe dovuto verificare, almeno parzialmente, secondo quanto affermato dai tre autori. Anche il Dyson parla di «gamba atleticamente ritta» al termine della spinta, ma egli prende in considerazione l'azione di un atleta evoluto, per cui non esiste reale contrasto con i nostri risultati. Ciò fa anzi supporre un'evoluitività di questo elemento, nel senso di una relazione diretta tra fenomeni auxologici ed ampliamento dell'angolo in questione, sino a giungere, con la stabilizzazione delle strutture anatomo-funzionali, ad un'apertura di  $180^\circ$ .

Per quanto riguarda i fenomeni verificantisi a carico delle articolazioni dell'A.I., possiamo in parte confermare quanto espresso da Bosco, Vittori e Matteucci. Essi infatti affermano che, durante la corsa, «al momento del contatto col suolo, viene prima effettuato un lavoro negativo con chiusura degli angoli delle articolazioni dell'A.I. e stiramento dei

CORSA M E - A.D.C.



CORSA M F - A.D.C.



CORSA M G - A.D.C.

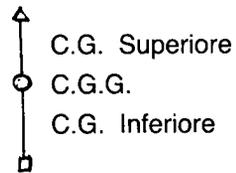
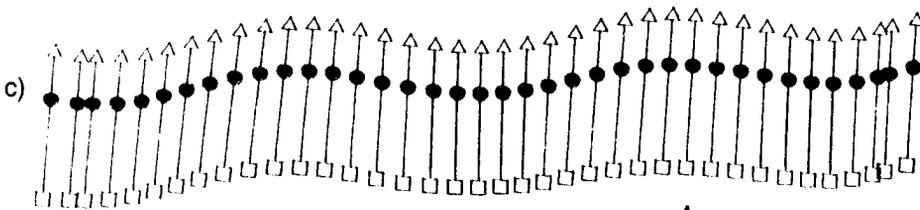


Fig. 2

muscoli estensori, poi un lavoro positivo con apertura di tutti gli angoli ed estensione dell'arto». In effetti, questo fenomeno si verifica a livello del ginocchio e della caviglia. A livello dell'articolazione coxo-femorale invece, dopo il minimo valore di apertura angolare registrato in corrispondenza del termine della spinta dell'arto omologo, tale valore aumenterà progressivamente, senza presentare la chiusura di cui poc'anzi riferito.

Non siamo inoltre d'accordo con gli stessi autori, circa le variazioni di velocità orizzontale, legate proprio all'angolo tronco-coscia. E' manifesta infatti, a nostro avviso, una tendenziale costanza nei valori relativi a tale elemento. Bisogna comunque tener presente che le considerazioni di Bosco, Vittori e Matteucci sono relative al gesto motorio della corsa di atleti evoluti. Anche l'Hochmuth parla di fasi di decelerazione ed accelerazione rispettivamente in I e II periodo dell'appoggio. Ad un concetto della corsa per l'Hochmuth, come costituita da «continui avanzamenti», preferiamo perciò quello di «avanzamento continuo».

Dai risultati dell'analisi circa il comportamento degli A.S., condotta essenzialmente a livello del gomito, non ci troviamo d'accordo col Meinel e con Merni, Coppini e Magenti; differentemente dalle tesi di tali autori, abbiamo infatti rilevato, in tutte le nostre osservazioni, un'azione di marcata flessione-estensione, con il caso estremo del gomito dx del soggetto M E, di cui tra poco tratteremo più approfonditamente.

Sempre negli A.S. si è rilevato, inoltre, un differente andamento tra lato dx e sx. Verificandosi analogo comportamento negli A.I., ci sembra di non poter condividere, perlomeno limitatamente al nostro studio ed ai nostri risultati basati su valori quantitativi, l'affermazione di Merni, Coppini e Magenti, secondo cui «i soggetti che mostrano movimenti simmetricamente coordinati sono la maggioranza». Siamo infatti di fronte ad un'azione asimmetrica, la quale, in particolare, depone a favore di un maggior controllo per l'emicorpo dx. Il fenomeno della lateralizzazione è perciò ben evidente.

Sempre dall'analisi relativa agli A.I., emerge inoltre un'interessante conferma a proposito di quanto sostenuto dal Calabrese. Viene infatti confermato il processo in base al quale il controllo dei distretti corporei si realizza procedendo distalmente.

Concordiamo infine con Merni, Coppini e Magenti nel sostenere una sufficiente coordinazione d'insieme, con sincronia di azione tra A.S. ed A.I. ma, al contempo, un'incoordinazione circa il controllo più fine dei movimenti.

Dall'analisi dei comportamenti del C.G.G., è risultata emergere un'interessante relazione tra la velocità e le oscillazioni, in senso verticale, del suo percorso geometrico (Fig. 2). Si è infatti riscontrata una relazione inversa tra i due elementi. Questo ci porta ad affermare che una maggior velocità comporta un assetto corporeo migliore, il quale permette di trasferire nella componente orizzontale dello spostamento la maggior parte del lavoro muscolare degli A.I., limitandosi in quella verticale all'equilibrio antigravitario.

Tornando ora a considerare quanto lasciato volutamente in sospeso circa i fenomeni che si verificano a livello delle articolazioni della caviglia e del ginocchio, cui si contrappone l'azione inversa di quella dell'anca, troviamo una conferma dei riscontri avuti per il C.G.G. Chiudendo anche l'angolo tra tronco e coscia, durante la prima fase dell'appoggio – l'ammortizzazione –, si avrebbe effettivamente un abbassamento del C.G.G., il che necessiterebbe, durante la seconda fase – la spinta – di una spesa energetica maggiore per risalire all'altezza precedente, a svantaggio della componente orizzontale dello spostamento. Invece, l'apertura dell'angolo tronco-coscia, contemporanea alla chiusura di quelli del ginocchio e della caviglia, permette, mantenendo il percorso baricentrico tendenzialmente costante – come effettivamente si è rilevato – di sfruttare al meglio la propulsione, ai fini dello spostamento orizzontale, cioè dell'avanzamento.

A tale considerazione si lega il riscon-

tro per l'A.O.C., la cui inclinazione in avanti aumenta in relazione diretta con la velocità. Ciò equivale a dire porre fisicamente le masse corporee in condizione di sfruttare al meglio il lavoro muscolare degli A.I.

Dunque, i due concetti di «velocità tendenzialmente costante» e «percorso tendenzialmente rettilineo», relativamente al C.G.G., sono il nucleo centrale attorno al quale sembrano ruotare i diversi fenomeni motori riguardanti la corsa. In tal modo, trova spiegazione la differenza esistente tra l'azione di corsa del bambino e dell'adulto, già evidenziata dal Calabrese (vedi in Bibliografia: «L'apprendimento motorio tra i 5 e i 10 anni»); i motivi di differenza sono di ordine muscolare – di chiara interpretazione – e neurologico. Il secondo, tralasciando l'aspetto anatomico ora non di pertinenza, comporta l'incapacità di mantenere l'assetto corporeo idoneo al miglior sfruttamento delle azioni muscolari, ai fini dell'avanzamento, a causa dell'insufficienza nel controllo dei movimenti nei distretti corporei più distali.

Un'analisi più particolare e più interessante merita il caso del soggetto M E. Interessante perché, pur nella sua situazione motoria alterata in partenza, egli fornisce una conferma ancor più significativa ai principi generali che abbiamo affermato poc'anzi. In un primo tempo, infatti, ci era sorto un dubbio circa la validità di tali principi, provocato dal comportamento «limite» del gomito dx e dalle fasi alterne del grado di inclinazione corporea registrate per M E. Questi si presentava più inclinato in avanti durante l'appoggio sx, piuttosto che nel dx (Fig. 2a). Ma ci si è accorti che, solo in tal modo, egli avrebbe potuto ovviare ad un periodo di appoggio più rapido del sx rispetto al dx, causato dal proprio disturbo fisico. Se così non fosse avvenuto, vi sarebbe stata un'azione di spinta dell'A.I. sx anticipata, rispetto al momento in cui si fossero presentate le condizioni ottimali per un avanzamento più redditizio possibile; infatti, nel C.G.G. non ancora «pronto», il lavoro muscolare avrebbe prodotto un incremento della

componente verticale della velocità, a scapito di quella orizzontale, con aumento dell'altezza della parabola di volo e minor avanzamento.

Inizialmente, ci si era posti l'interrogativo, come del resto altri prima di noi, di quali elementi andassero presi in considerazione per poter parlare di *coordinazione-incoordinazione* nei movimenti di un essere umano qualsiasi, ma nel nostro caso, più specificamente nella corsa di soggetti in età evolutiva. Si osservano talvolta, infatti, bambini che presentano azioni piuttosto insolite dal resto dei loro coetanei, tali da farli considerare più o meno coordinati degli altri. Con l'esperienza di questo studio, siamo riusciti a renderci conto di un adattamento motorio, a prima vista segno apparente di incoordinazione, poi spiegato alla luce dei dati quantitativi ad esso relativi, ed all'ormai noto comportamento di C.G.G. e A.O.C.

Abbiamo infatti parlato, riguardo al soggetto M E, di un'altalena di valori dell'inclinazione dell'A.O.C., il quale presenta un valore «normale» – in relazione agli altri due soggetti analizzati – nell'appoggio dx e maggiore del «normale» (quindi più inclinazione) in quello sx; ma non abbiamo chiarito come aumenti questa inclinazione. Ebbene, essa è il frutto dell'accentuata flessione dell'A.S. dx al gomito.

Il massimo valore di tale azione corrisponde ad un arresto e successiva inversione del movimento angolare, nell'istante immediatamente seguente alla perdita di contatto col terreno (Fig. 1a, fot. 25). In tal modo, conseguenzialmente alle leggi della fisica relative al moto dei corpi, si produce un impulso di rotazione in senso orario (rispetto alla nostra prospettiva di osservazione), nelle masse corporee superiori, il cui valore è certamente minimo, viste le masse in gioco – un A.S./resto del corpo – ma pur sempre sufficiente per riportare l'A.O.C. nella condizione migliore per lo sfruttamento della propulsione.

In base a quanto poc'anzi chiarito, possiamo quindi dire che lo studio in parallelo di soggetti «normali» dal punto di

vista motorio, con un soggetto con peculiarità motorie «anormali» – seppur temporanee – ci ha fornito la conferma al principio generale riscontrato.

In risposta, dunque, all'interrogativo

originario, soltanto un'analisi qualitativa su base quantitativa può permettere di stabilire il grado di coordinazione motoria in un soggetto, comunque sempre tenendo presente l'età di appartenenza.

Ricerca finalizzata, finanziata dal M.P.I. col 40%, nel 1984.

Il titolo generale della ricerca di cui il presente articolo è l'inizio, è

«Analisi qualitativa e quantitativa di alcune azioni di significato ontogenetico in età evolutiva».

Responsabile della ricerca: Prof. Angelo Manoni

Collaboratori:

Prof. Paolo De Leva per il software; prof. Marco Riva per l'analisi dei dati; proff. Enrico Carvelli, Paolo De Leva, Luciano Mallozzi e Mauro Zallocco per le riprese filmate.

#### **Indirizzo dell'Autore**

*Prof. Paolo Cambone  
Laboratorio di Biomeccanica  
ISEF Statale di Roma  
Piazza Lauro de Bosis, 6  
00194 Roma*

#### **Bibliografia**

BERNSTEIN N.: *The coordination and the regulation of movements* – Pergamon Press, London, 1967.

BOSCO C., VITTORI C., MATTEUCCI E.: *Considerazioni sulle variazioni dinamiche di alcuni parametri biomeccanici nella corsa*, *Atletica Studi* – N. 2, 1985.

CALABRESE L.: *L'apprendimento motorio tra i 5 e i 10 anni* – Armando Editore, 1974.

CALABRESE L.: *Linee comparate di teoria e metodologia delle attività motorie* – S.S.S. Roma, 1978.

DONSKOJ D. D., ZATZIORSKIJ V. M.: *Biomeccanica* – S.S.S. Roma, 1983.

DYSON G. H. G.: *Principi di meccanica in atletica* (trad. a cura di A. Nittoli e f.lli) – Edizioni A. L. Milano, 1971.

FUCCI S., BENIGNI M.: *Meccanica dell'apparato locomotore applicata al condizionamento muscolare* – Scuola dello Sport CONI, 1981.

GATTA F.: *Rubrica dei muscoli e meccanica umana* – S.S.S. Roma, 1984.

HOCHMUTH G.: *Biomeccanica dei movimenti sportivi* – Edizioni Nuova Atletica del Friuli, 1983.

MANONI A.: *Biomeccanica e divisione strutturale della ginnastica artistica* – S.S.S. Roma, 1982.

MEINEL K.: *Teoria del movimento* – S.S.S. Roma, 1984.

MERNI F., COPPINI L., MAGENTI L.: *Il bambino e la corsa* – S.d.S. CONI – N. 5, 1986.

TITTEL K.: *Anatomia funzionale dell'uomo* (trad. a cura di G. Marinozzi) – Edizioni Ermes, 1980.

VIRGILI F., RIVA M.: *Come apprendiamo* – S.S.S. Roma, 1985.