

# **Ricerche di biomeccanica: ipotesi per una ottimale utilizzazione dei manti sintetici per il raggiungimento della migliore performance sportiva (\*)**

**Antonio Pedotti, Renato Rodano**

## **A. Pedotti**

Direttore del Centro di Bioingegneria  
del Politecnico di Milano  
Membro del C.S. & R. FIDAL

## **R. Rodano**

Centro di Bioingegneria  
del Politecnico di Milano  
Membro del C.S. & C. FIDAL

## **Introduzione**

I manti sintetici, utilizzati per la copertura delle piste e delle pedane dell'atletica leggera, sono caratterizzati da diversi valori di elasticità, viscosità e plasticità.

La combinazione di questi tre elementi influenza direttamente: a) la distribuzione dei carichi sulle varie articolazioni e nei segmenti corporei; b) la prestazione raggiungibile dall'atleta, soprattutto in quegli atti motori che implicano una successione di urti fra piede e terreno, quali le diverse discipline di corsa ed i salti.

Intuitivamente una superficie elastica è più confortevole e riduce la possibilità di incidenti muscolo-tendinei. D'altro canto una superficie rigida appare essere più adatta per l'espressione di maggiori velocità.

Nonostante queste semplici intuizioni non è facile determinare in che misura ed in che modo questi fattori siano in grado di influenzare la prestazione

(\*) Questo lavoro è stato parzialmente finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto Speciale di Tecnologie Biomediche, Contratto n. 80.01186.86 e dal Centro Studi e Ricerche della F.I.D.A.L.

dell'atleta. Soprattutto non è né facile, né semplice individuare i parametri ottimali atti a consentire all'atleta il raggiungimento della migliore prestazione.

Gli anni recenti hanno visto, nell'ambito della Bioingegneria e della Biomeccanica, lo sviluppo di interessanti ricerche il cui scopo è l'analisi, condotta con rigore scientifico, della meccanica di alcuni gesti sportivi: tale analisi ha riguardato peraltro la maggior parte delle specialità dell'atletica leggera.

E' chiaro che i risultati e le metodologie di questi studi forniscono la possibilità di dare una risposta ai quesiti sopra esposti e di individuare criteri ottimali per la progettazione degli impianti.

Gli obiettivi che si individuano come fondamentali nella progettazione di una pista sono:

— il miglioramento delle prestazioni atletiche;

— la sicurezza dell'atleta, sia durante la competizione che durante l'allenamento;

— la possibilità di allungamento dei tempi di allenamento, in funzione del grado di comodità e di sicurezza che un manto sintetico è in grado di offrire.

Al fine di studiare e valutare le caratteristiche dei manti sintetici si possono utilizzare tre tipi di approccio, fra loro complementari:

— misura delle caratteristiche biomeccaniche e della dinamica del movimento in relazione alle modifiche indotte dalla copertura sintetica;

— analisi dettagliata del sistema « atleta-pista » attraverso un opportuno modello matematico, al fine di determinare i parametri ottimali che la pista stessa deve avere;

— analisi su base statistica della correlazione fra livello delle prestazioni, occorrenza di infortuni e tipo di manto sintetico utilizzato.

Appare ovvio che questi tre approcci non sono indipendenti l'uno dall'altro ma costituiscono fasi diverse di un unico processo riassumibile in quattro punti:

— misura dei parametri fisici;  
— predizione attraverso modello matematico delle caratteristiche ottimali della pista;

— verifica delle modifiche prodotte sulla dinamica dell'atleta e la conseguente verifica della validità del modello;

— verifica statistica, e seguita a posteriori, della correttezza della soluzione ipotizzata.

Un contributo allo studio del problema condotto secondo l'approccio descritto, è stato dato dalle ricerche svolte presso il Centro di Bioingegneria, una istituzione del Politecnico di Milano e della Fondazione Pro Juventute Don Gnocchi che da anni si occupa di ricerca nel settore della Bioingegneria. Alcune delle ricerche che verranno descritte sono state condotte in collaborazione con il Centro Studi e Ricerche della F.I.D.A.L.

### Approccio modellistico

Sviluppare il modello matematico di un sistema fisico significa determinare le relazioni fisico-matematiche che descrivono il sistema e il suo comportamento.

Le equazioni matematiche relative, tradotte e risolte su calcolatore con un software opportuno, forniscono uno strumento che permette la simulazione del sistema fisico. Si ha cioè sul calcolatore l'equivalente di un modello fisico col quale prevedere il comportamento del sistema reale quando è sottoposto a particolari sollecitazioni.

Ad esempio attraverso lo sviluppo di un modello matematico che prenda in considerazione la biomeccanica della locomozione o di un gesto atletico, si può analizzare, noti i parametri caratterizzanti un certo atleta, come la sua locomozione ed il suo specifico gesto vengano modificati da diversi coefficienti di elasticità di una superficie.

In tal modo, è quindi possibile determinare quei valori di elasticità media atti a consentire la prestazione ottimale, differenziando eventualmente tali caratteristiche in relazione al tipo di specialità praticata.

La Fig. 1 illustra lo schema adottato per lo sviluppo di un modello matematico dell'apparato locomotore umano sviluppato nell'ambito di una collabora-

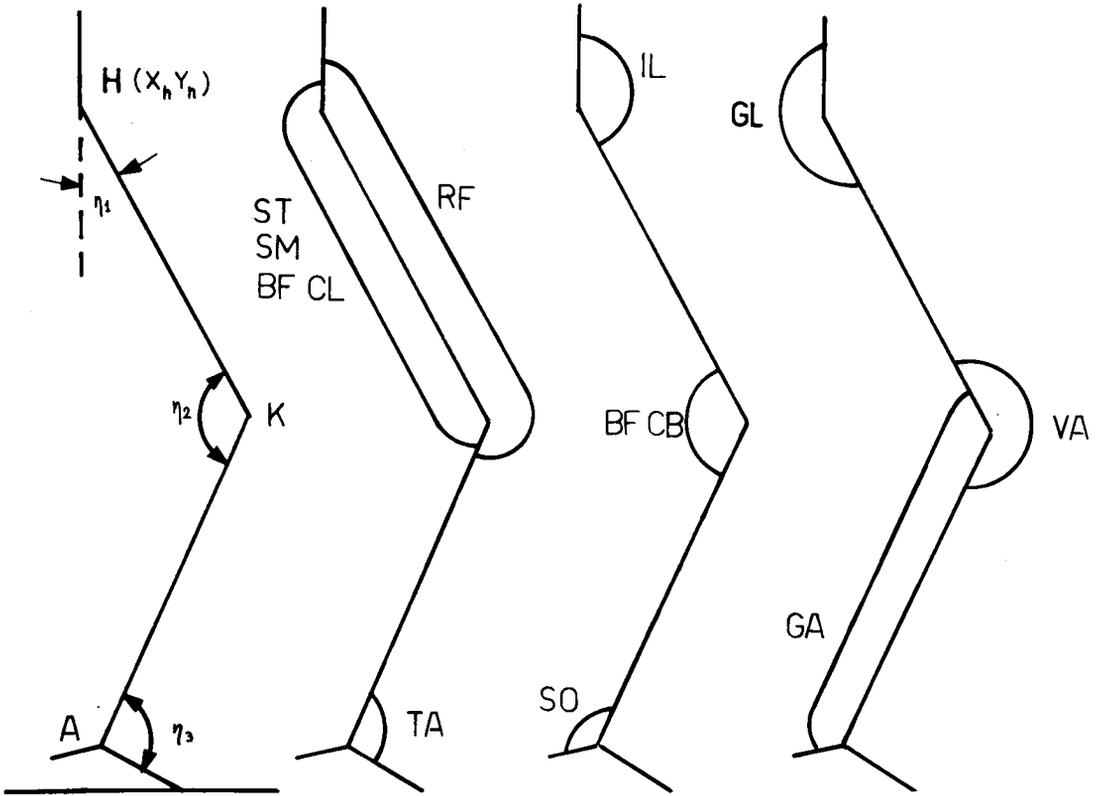


Fig. 1 - Schematizzazione dell'arto inferiore, a) Schematizzazione delle tre aste incernierate. H: articolazione della caviglia, K: articolazione del ginocchio, A: articolazione dell'anca,  $X_n, Y_n$ , coordinate dell'anca,  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  valori angolari alle tre articolazioni, b) Schematizzazione degli undici muscoli considerati nell'analisi: Retto Femorale (RF), Semitendinoso (ST), Semimembranoso (SM), Bicipite Femorale Capo Lungo (BCFL), Tibiale Anteriore (TA), Iliaco (IL), Bicipite Femorale Capo Breve (BFCB), Soleo (SO), Glutei (GL), Vasti (VA) e Gastrocnemio (GA).

zione con l'Università di California di Berkeley.

Gli arti inferiori sono stati schematizzati con aste rigide, incernierate in corrispondenza delle tre principali articolazioni (anca, ginocchio e caviglia). Sono anche indicate le schematizzazioni adottate per i gruppi muscolari che agiscono sulla struttura scheletrica. Si noti che ciascun muscolo è stato caratterizzato con una linea, che rappresenta la linea di azione della sua forza. Tale linea congiunge il punto medio di origine e inserzione del muscolo stesso e tiene conto dei vincoli imposti dalla struttura anatomica del sistema scheletrico e tendineo. La Fig. 2 riporta lo schema a blocchi della procedura di analisi e dei programmi implementati su calcolatore.

Il modello ha degli ingressi divisibili in due gruppi: il primo, che si riferisce al singolo soggetto e al singolo gesto esaminato, contiene i parametri scheletrico-muscolari del soggetto, i dati cinematici, le reazioni al terreno; il secondo, che tiene in considerazione opportune ipotesi di analisi, contiene i parametri fisiologici del muscolo ed i criteri di ottimizzazione. Le uscite del modello sono così il risultato di un problema di ottimizzazione che simula ciò che il sistema nervoso centrale di un atleta deve risolvere quando questi esegue un certo gesto.

Questo modello è stato implementato su un calcolatore elettronico che fornisce in uscita per ogni soggetto, e per ogni atto locomotorio i valori istantanei delle seguenti grandezze:

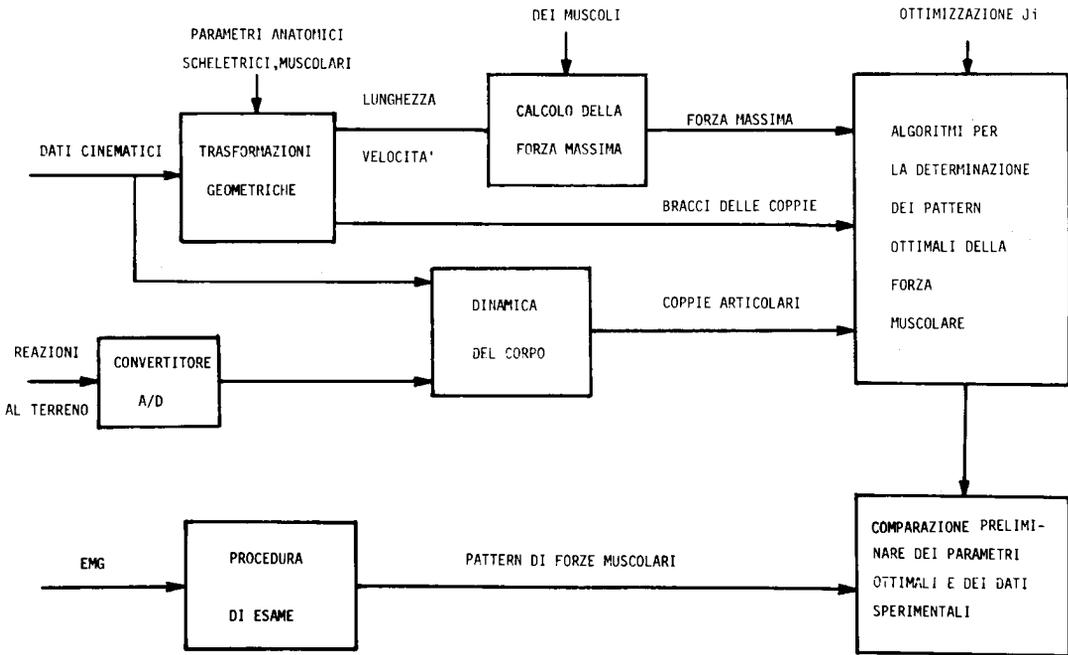


Fig. 2 - Schema blocchi rappresentativo dell'acquisizione dati e della procedura di analisi.

- le forze esercitate dai vari muscoli durante il gesto;
- la lunghezza e la velocità di allungamento e accorciamento di ciascun muscolo;
- la potenza fornita dai singoli muscoli;
- il carico agente sui principali tendini e alle articolazioni;
- la distribuzione dei carichi sui principali segmenti scheletrici.

La verifica della validità del modello viene compiuta attraverso il confronto delle forze muscolari calcolate con l'attività elettromiografica dei muscoli corrispondenti, rilevata simultaneamente durante il gesto considerato.

Questo modello è stato, finora, utilizzato soltanto per movimenti compiuti su una superficie rigida. La sua applicazione, nello studio dei manti sintetici porterebbe all'acquisizione di risultati rilevanti per quanto riguarda le modifiche prodotte sul coordinamento muscolare.

In tal modo verrebbero indicate ai tecnici la necessità di potenziamento di particolari gruppi muscolari e verreb-

bero evidenziati potenziali rischi cui l'atleta si sottopone per la presenza di sovraccarichi non altrimenti individuabili.

Un modello più semplice e specificamente finalizzato alla scelta dei parametri ottimali atti a caratterizzare una pista per consentire agli atleti il raggiungimento della massima velocità durante prove di corsa, è stato recentemente sviluppato presso la Harvard University di Cambridge nel Massachusetts con la quale il Centro di Bioingegneria collabora per lo svolgimento di ricerche affini.

In questo modello la struttura muscolare dell'apparato locomotore è schematizzata, durante la fase di impatto tra piede e terreno, come un dispositivo ruota-cremagliera con in serie una molla ed un ammortizzatore, Fig. 3. Le caratteristiche di elasticità della molla e di smorzamento dell'ammortizzatore sono state valutate considerando l'elasticità propria della muscolatura dell'atleta e dei meccanismi di retroazione nervosa. In particolare si è presa in considerazione l'azione delle fibre afferenti Ia e Ib provenienti dai fusi muscolari

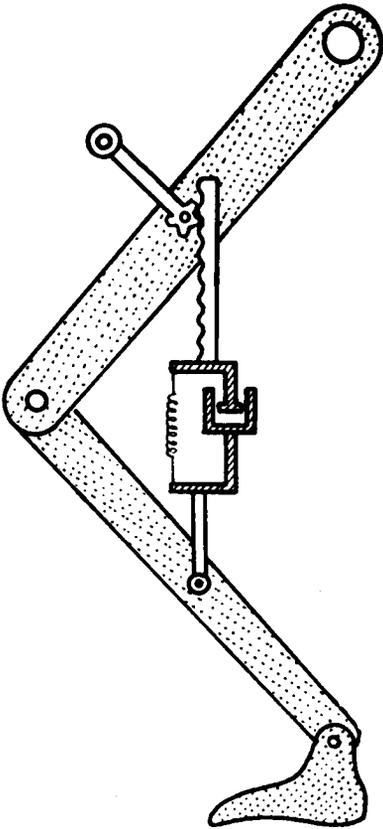


Fig. 3 - Rappresentazione schematica del ruolo separato degli elementi di estensione (pignone e cremagliera) e delle proprietà del muscolo più i riflessi nervosi (molla con smorzatore).

e dagli organi del Golgi. Tali valori possono essere misurati direttamente sul singolo atleta mediante il rilievo e l'elaborazione delle reazioni di appoggio susseguenti all'esecuzione di un salto verso il basso compiuto dall'atleta partendo da un'altezza nota senza flettere le ginocchia e iperestendendo l'articolazione della caviglia.

La procedura di analisi prevede la simulazione su calcolatore e le prove sperimentali compiute facendo correre diversi atleti a differenti velocità su superfici con diverso grado di elasticità. I parametri presi in considerazione sono stati: il tempo di contatto ( $t_c$ ), la lunghezza del passo ( $L$ ) e la velocità di avanzamento.

La Fig. 4A riporta la relazione fra i tempi di contatto e la rigidità della su-

perficie di appoggio. Al fine di avere dati comparabili per i vari atleti il tempo di contatto ( $t_c$ ) di ogni atleta è stato normalizzato rispetto al tempo di contatto ( $t_{c0}$ ) dello stesso atleta misurato per la miglior prestazione sulla superficie più rigida. Per lo stesso motivo la rigidità della pista ( $K_i$ ) è stata rapportata alla rigidità dell'atleta considerato ( $K_m$ ).

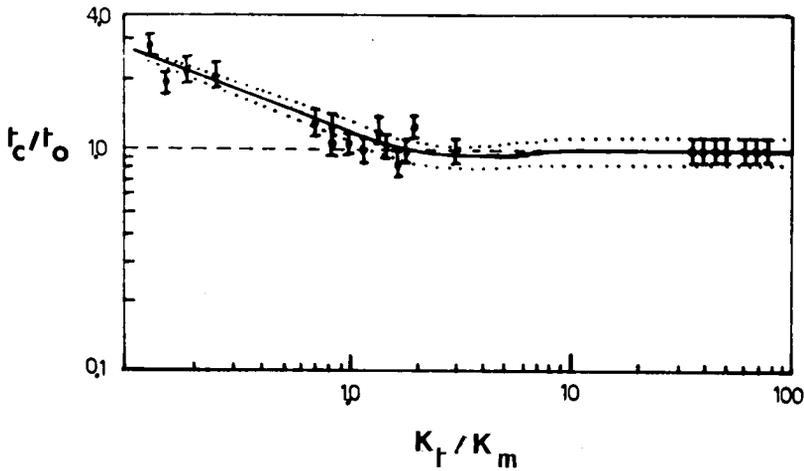
Mentre intuitivamente si potrebbe ipotizzare che il tempo di contatto risulti tanto più basso quanto più alta è la rigidità della pista, la curva dei risultati mostra un minimo per valori di  $K_i/K_m$  compresi tra 2 e 4.

La Fig. 4B riporta la lunghezza del passo ( $L$ ) normalizzata, con lo stesso criterio del grafico A, rispetto a  $L_0$  in funzione di  $K_i/K_m$ . La curva indica che la lunghezza del passo tende ad aumentare con l'aumento di elasticità della pista.

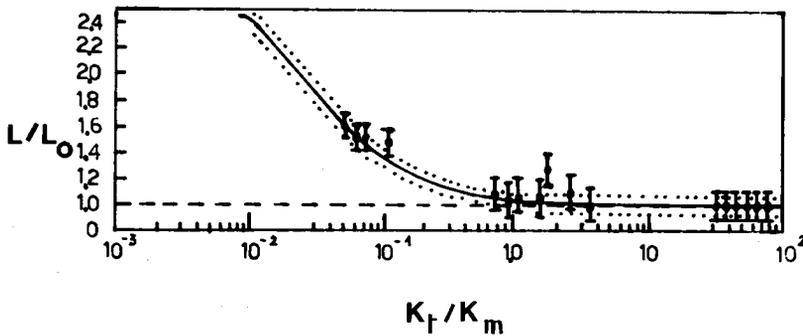
E' quindi possibile risolvere un problema di ottimizzazione il cui obiettivo è la massimizzazione della velocità di avanzamento attraverso la relazione fra tempo di contatto (che deve risultare il più piccolo possibile) e la lunghezza del passo (che deve essere la più grande possibile). Su questa base è stata costruita nel 1977 una pista indoor di 200 yard (circa 183 m) presso gli impianti sportivi della Harvard University. La pista è costituita da un supporto in legno ricoperto con materiale sintetico ed ha una rigidità di circa 3 volte superiore a quella propria dell'atleta. Ne è risultata una pista con elasticità molto pronunciata ( $K_i = 200 \text{ KN/m}$ ), 20 volte superiore a quella dell'asfalto e 5 volte superiore a quella delle usuali piste sintetiche. I risultati ottenuti hanno evidenziato, secondo gli autori, un incremento medio di velocità pari a circa il 3% e una diminuzione significativa degli incidenti in fase di allenamento.

Al di là delle approssimazioni introdotte, un aspetto che merita di essere sottolineato è che, per l'ottenimento di risultati ottimali, la rigidità della pista dovrebbe essere studiata in relazione alla rigidità propria del singolo atleta.

Tale parametro presenta peraltro una notevole variabilità. Infatti nel gruppo



A



B

Fig. 4A - Grafico tempo di contatto-rigidità della pista. Il rapporto  $t_c/t_0$  rappresenta il tempo di contatto di ciascuna prestazione ( $t_c$ ) normalizzato rispetto al valore misurato per la miglior prestazione di ciascun soggetto sul terreno più rigido ( $t_0$ ),  $K_f/K_m$  è il rapporto tra rigidità della pista e rigidità dell'atleta. La linea continua mostra la previsione teorica. Sono riportati anche i valori misurati per otto diversi soggetti.

Fig. 4B - Grafico lunghezza del passo-rigidità della pista dove  $L/L_0$  e  $K_f/K_m$  sono i valori normalizzati con gli stessi criteri della Fig. 4A. La linea continua mostra la previsione teorica. Sono riportati anche i valori misurati per otto atleti.

di atleti esaminati presso la Harvard University i valori di  $K_m$  indicavano variazioni superiori al 100% (da 50 a oltre 110 KN/m), inoltre  $K_m$  dipende dal tipo di specialità praticato (sprint, mezzofondo, salti, ecc.), essendo correlata alle caratteristiche scheletro-muscolari degli atleti.

Una soluzione parziale del problema potrebbe essere ottenuta costruendo le diverse pedane di una pista in base al  $K_m$  medio degli atleti suddivisi per specialità.

Non ugualmente si potrebbe differen-

ziare però l'anello dove corrono atleti di caratteristiche molto diverse (velocisti, mezzofondisti e fondisti). Inoltre a livello di manifestazioni internazionali, potrebbero nascere contestazioni in relazione al campione di atleti considerato, innescando accuse di favoritismi per questo o quel gruppo di atleti. In tal senso è più ragionevole ipotizzare una conoscenza accurata delle caratteristiche della pista per mettere in condizione l'atleta di sfruttarne al massimo le potenzialità attraverso un'opportuna preparazione.

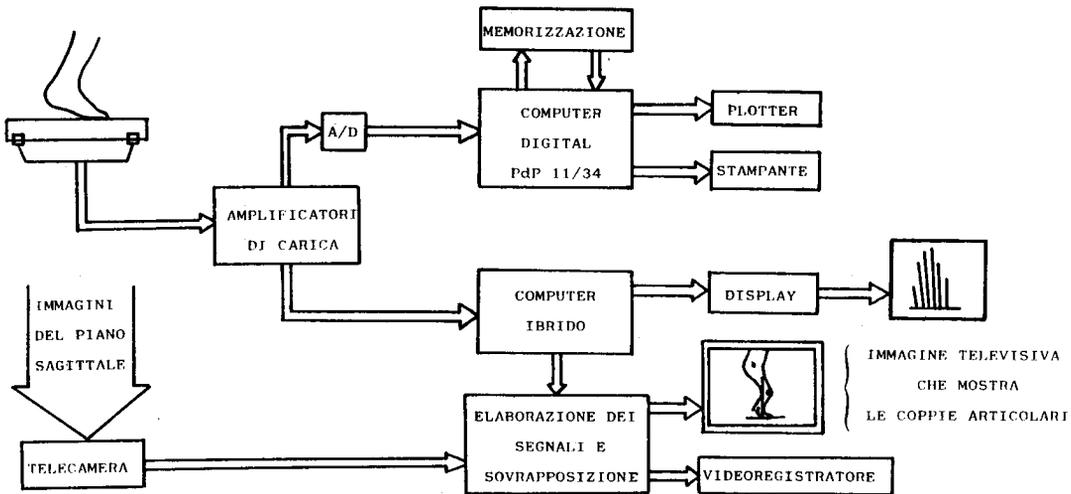


Fig. 5 - Schema della strumentazione utilizzata per l'ottenimento dei diagrammi vettoriali e delle coppie articolari.

### Metodologie di misura delle variabili dinamiche

Un approccio complementare alla modellistica è quello che fa riferimento alle tecniche di misura che consentono di evidenziare, con elevata affidabilità, le variazioni che il manto sintetico produce sulla dinamica del movimento e sul coordinamento neuromuscolare.

Tali misure, che devono essere compiute direttamente sugli atleti durante il gesto sportivo, servono sostanzialmente per tre scopi:

- implementare sul singolo atleta i modelli matematici più complessi, sopra descritti;

- fornire gli strumenti che operativamente rendono più semplice la valutazione del manto sintetico;

- fornire le indicazioni atte a redigere un piano di allenamento con cui l'atleta possa sfruttare al meglio le caratteristiche del manto sintetico.

Perché una procedura di analisi sia praticamente utilizzabile, deve possedere alcuni requisiti specifici:

- elevata sensibilità e affidabilità;
- permettere la massima libertà di movimento dell'atleta sia sul campo che in un idoneo spazio al coperto;
- fornire risultati direttamente in linea evitando elaborazioni manuali;

— fornire risultati sotto forma di valori numerici o diagrammi di facile interpretazione.

Presso il Centro di Bioingegneria è stata sviluppata nell'ambito dei Progetti Finalizzati di Tecnologie Biomediche del Consiglio Nazionale delle Ricerche una procedura concepita inizialmente per le indagini fisico-patologiche della deambulazione, che soddisfa ai requisiti citati anche nel settore dello sport. Tale procedura che ha ottenuto un brevetto a validità internazionale, è attualmente utilizzata presso molti centri Europei e degli Stati Uniti.

Questa procedura, che richiede la strumentazione schematizzata in Fig. 5, consiste nella misura della forza risultante che il piede esercita sul terreno durante il movimento ed in una sua particolare visualizzazione in forma vettoriale.

Praticamente il soggetto compie una certa fase del suo movimento (appoggio durante il cammino o la corsa, stacco durante i salti ecc.) su una piattaforma a quarzi piezoelettrici, che fornisce segnali elettrici proporzionali alle tre componenti spaziali della forza. I segnali elaborati in linea da un opportuno processore vengono visualizzati su uno schema a memoria. Il risultato ulti-

mo è il « diagramma vettoriale », che rappresenta l'evoluzione spazio temporale della reazione nel piano di avanzamento o nel piano ad esso perpendicolare. Gli stessi dati vengono anche memorizzati ed elaborati fuori linea da un calcolatore Digital PDP 11/34 che è fornito di diverse uscite.

Per meglio capire il significato di diagramma vettoriale la Fig. 6 illustra la sua evoluzione nel piano di avanzamento durante il cammino in relazione alle posizioni relative assunte dal piede. Si sono scelte 4 fasi dell'appoggio (inizio contatto, due fasi intermedie, fine contatto) in cui il vettore più evidenziato rappresenta la risultante in quel determinato istante, mentre i più tenui fanno riferimento all'evoluzione precedente.

Come si vede la reazione, che viene campionata a intervalli di tempo costanti, varia in ampiezza, direzione e punto di applicazione. La linea orizzontale di base rappresenta la lunghezza della pedana nel piano considerato. La fase corrispondente a 586 ms è relativa alla fine dell'appoggio ed il diagramma vettoriale è indicato nella sua completezza.

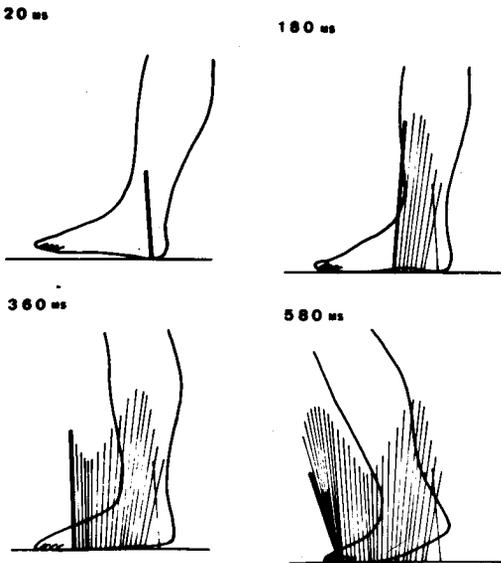


Fig. 6 - Schema del diagramma vettoriale sovrapposto al piede in quattro istanti della fase di appoggio. La linea grossa rappresenta il vettore reazione, campionato all'istante indicato. Le linee sottili rappresentano i vettori campionati dall'inizio fino al tempo indicato. I Vettori sono campionati ogni 20 msec. e la figura corrisponde a 580 msec. rappresenta il diagramma vettoriale completo.

I vantaggi di una simile procedura sono riassumibili nei seguenti punti:

- elevata precisione delle misure;
- completa libertà dei movimenti del soggetto;
- elevata sensibilità alle variazioni dinamiche.

Un esempio di applicazione a livello atletico è fornito in Fig. 7 dove sono riportati i diagrammi vettoriali di quattro differenti discipline: marcia, corsa prolungata, stacco del salto in alto, e stacco del salto in lungo. Ciascun movimento è caratterizzato da diverse forme dei diagrammi a cui si associano diverse intensità delle forze (leggibili attraverso una opportuna scala delle relative ampiezze) e diverse durate (fornite visivamente dal numero di vettori).

Inoltre si è verificato su larga scala che i diagrammi vettoriali, sia pur modificati dalle caratteristiche anatomico-funzionali del singolo atleta, sono differenziabili nettamente in relazione alla diversa disciplina.

In tal senso si è individuata nei diagrammi vettoriali una tecnica in grado di fornire una sintesi significativa e accurata della dinamica correlata ai diversi atti motori.

Un ulteriore sviluppo della tecnica ha permesso di misurare le coppie articolari alle tre articolazioni principali della gamba (anca, ginocchio, caviglia) (Fig. 5). Il diagramma vettoriale ed il soggetto in movimento sono ripresi simultaneamente da due telecamere. Le immagini così ottenute vengono miscelate rispettando la sincronia temporale e le scale spaziali. L'immagine finale riporta il soggetto, di cui vengono evidenziati i centri delle articolazioni con opportuni markers bianchi, ed il vettore reazione. Registrando il fenomeno e rivedendolo immagine per immagine, è possibile calcolare le coppie articolari semplicemente moltiplicando il valore della forza per la distanza dai centri di rotazione. Va detto che il significato di questa grandezza è notevole dato che esso descrive quantitativamente l'azione dei vari gruppi muscolari.

La Fig. 8 riporta le coppie articolari alle tre articolazioni misurate durante esercizi di pliometria compiuti da tre diversi atleti. Le curve A e A' si riferisco-

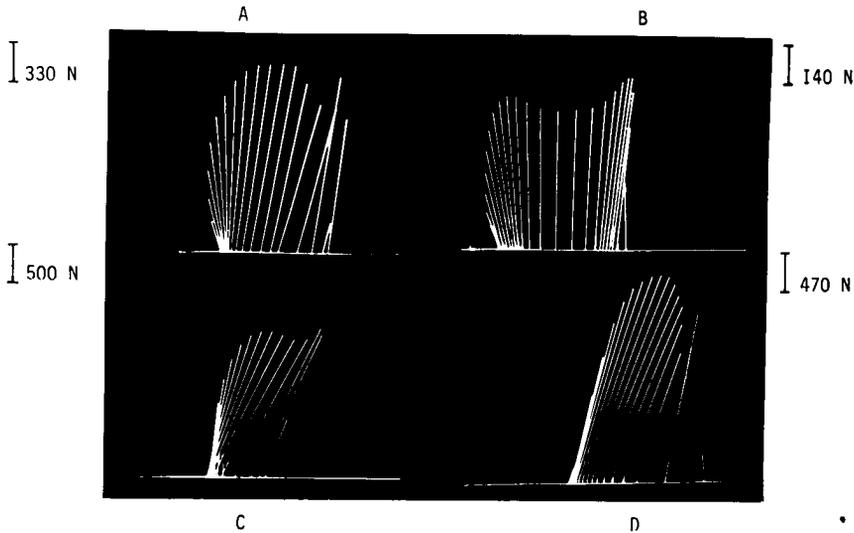


Fig. 7 - Diagrammi vettoriali di quattro gesti atletici: A) corsa prolungata; B) marcia; C) stacco del salto in lungo; D) stacco del salto in alto. La direzione di avanzamento è da destra a sinistra. I vettori sono stati campionati ogni 10 msec. Da notare la diversa scala delle forze per ciascun gesto (variazioni dei carichi ed il diverso numero di vettori (variazione della durata).

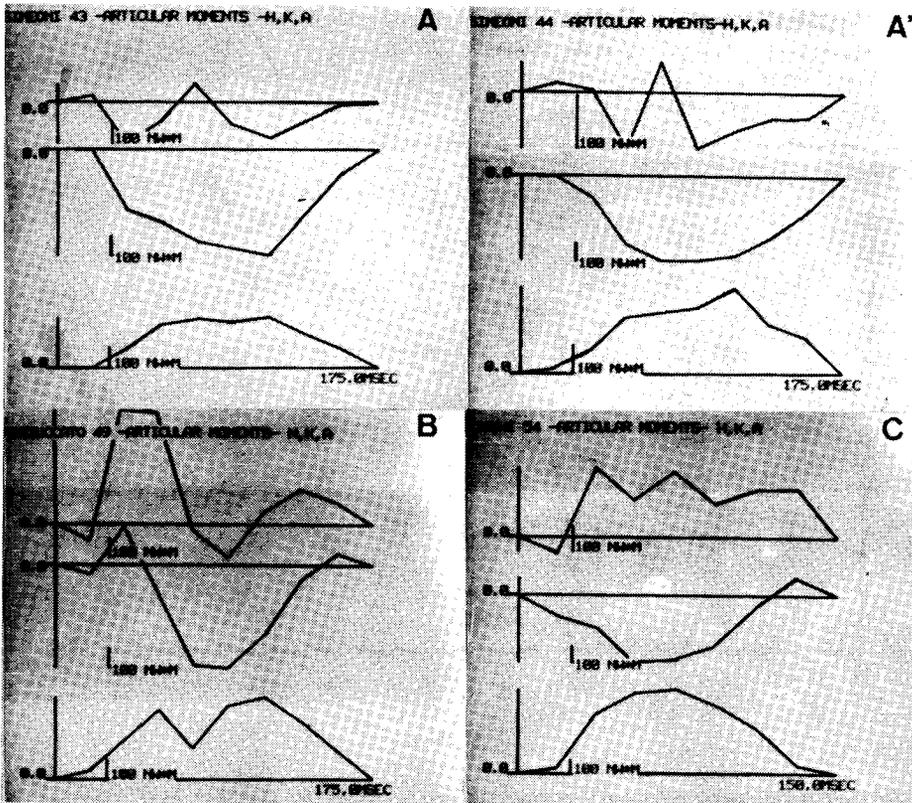


Fig. 8 - Grafici delle coppie articolari misurate in tre soggetti (A, B, C) durante l'impatto di un esercizio di pliometria con altezza di caduta di 45 cm. Le curve A e A' si riferiscono a due diverse prove dello stesso soggetto. Per ogni soggetto è riportato in alto la coppia all'anca, al centro la coppia al ginocchio e in basso la coppia alla caviglia.

no allo stesso soggetto. Benché gli atleti abbiano fatto l'esercizio partendo dalla stessa altezza (45 cm) esprimendo forze di valore comparabile in tempi del tutto simili, i gruppi di curve A, B e C sono alquanto differenti sia per forma che per ampiezza delle grandezze misurate, mentre i gruppi A e A' sono del tutto comparabili.

Queste osservazioni suggeriscono che i gesti anche semplici, vengono eseguiti da diversi atleti con interventi neuromuscolari alquanto diversi, mentre lo stesso atleta fa riferimento ad uno schema ben definito e stereotipato.

Le metodologie sopra illustrate sono state utilizzate nell'ambito della collaborazione con il Centro Studi e Ricerche della FIDAL, per lo studio del salto in alto e di alcuni esercizi di allenamento, ed i risultati sono riportati in forma estesa in alcune pubblicazioni internazionali.

Benché queste metodologie non siano mai state utilizzate per la valutazione dei manti sintetici è interessante notare il loro alto grado di sensibilità che

consente di documentare e quantificare anche piccole variazioni nel gesto motorio, non altrimenti evidenziabili. Ciò suggerisce che le metodologie stesse possono essere strumento idoneo per la valutazione delle modifiche prodotte dai manti sulla dinamica del gesto.

### Sicurezza e comodità

Ulteriori elementi che vanno presi in considerazione per valutare un certo tipo di copertura sono la sicurezza e la comodità. Infatti garantire gli atleti da possibili infortuni e fornire una condizione ottimale di allenamento significa, a parità di altre condizioni, aumentare il tempo dedicabile alla preparazione con conseguente miglioramento delle prestazioni.

Questi vantaggi sono stati giustamente evidenziati dai ricercatori che hanno progettato la pista dell'Università di Harvard. Essi infatti sottolineano in Fig. 9 come, all'aumentare della rigidità della pista, si evidenzia nella prima fase di impatto un picco di forza fra piede e ter-

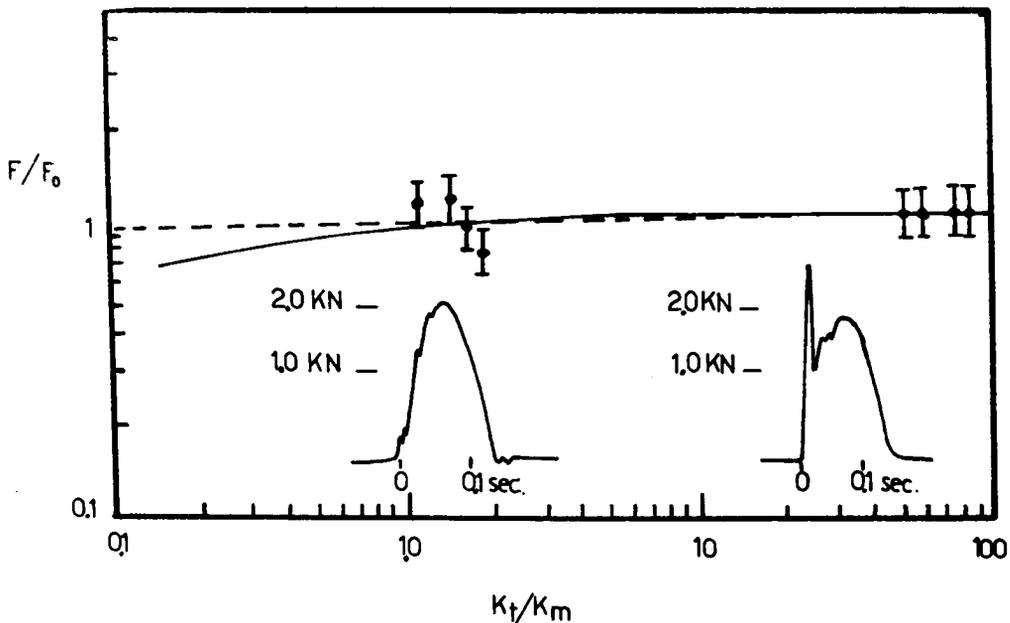


Fig. 9 - Grafico della forza media (F) esercitata dal soggetto sul terreno normalizzata rispetto al valore ( $F_0$ ) per la miglior prestazione sulla superficie più rigida in funzione del rapporto  $K_t/K_m$ . La linea continua mostra la previsione teorica. Sono riportati anche i valori misurati per quattro soggetti che correvano su due diverse superfici. Sono inoltre riportati gli andamenti medi della forza verticale valutati per le stesse superfici. Da notare come il picco di impatto scompare con la diminuzione di rigidità della pista.

reno. Benché la durata del picco sia molto limitata, il valore di forza massima raggiunto è di circa 5 volte il peso corporeo dell'atleta. Peraltro diminuendo la rigidità della pista il picco tende a ridursi fino a sparire. Anche altri autori hanno condotto ricerche analoghe giungendo alle stesse conclusioni.

La Fig. 10 riporta i risultati di test condotti presso il Centro di Bioingegneria in cui è stata misurata la stessa variabile (componente verticale della forza di reazione) per atleti che, correndo a velocità costante, sullo stesso tipo

l'adattamento del singolo atleta alla pista che, per necessità di tipo costruttivo, deve essere progettata al meglio con riferimento ad una popolazione media di utenti.

### Conclusioni

Paradossalmente il problema dello sviluppo tecnologico dei manti sportivi finalizzato al miglioramento della prestazione corre il rischio di essere sotto-stimato dagli addetti ai lavori perché erroneamente non si individuano dei van-

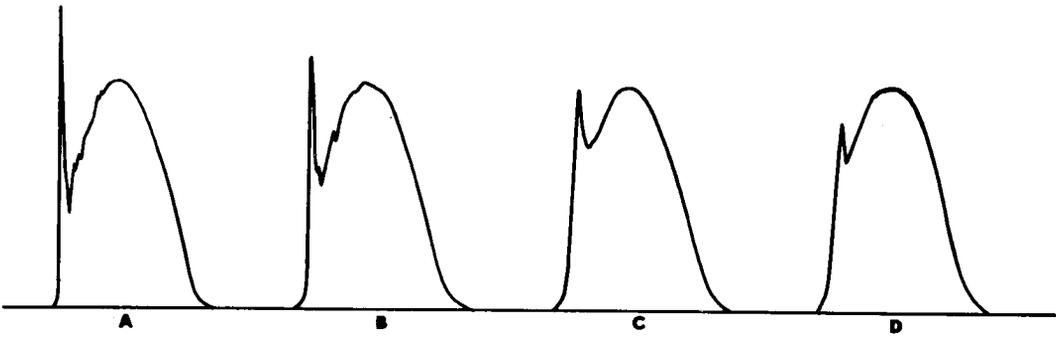


Fig. 10 - Andamento della forza verticale misurata per un soggetto che correva alla stessa velocità (11 Km/h) sulla stessa superficie a piedi nudi e calzando diverse calzature:

- A) piedi nudi;
- B) scarpe da tennis;
- C) scarpe da Jogging;
- D) scarpe speciali corsa prolungata.

di terreno indossavano differenti tipi di calzature. Le curve si riferiscono a quattro prove di uno stesso soggetto che calzava scarpe di diversa qualità.

I risultati confermano l'importanza della calzatura nell'esecuzione del gesto atletico: quanto più la scarpa possiede buone qualità di assorbimento d'urto, tanto più il picco di impatto tende a diminuire, diminuendo di conseguenza i carichi a livello tendineo.

Alla luce di questi risultati si può trarre una importante conclusione: il vero sistema da prendere in considerazione è l'insieme atleta-calzatura-pista. La calzatura intesa come entità dotata di ben definite caratteristiche elasto-plastiche, è l'elemento fondamentale per

taggi immediati. Infatti apparentemente il manto ottimale favorisce tutti gli atleti aumentando il livello medio delle prestazioni senza modificare però la gerarchia degli atleti.

Ciò è in qualche modo diverso dall'utilizzo di tecniche di allenamento specifiche che tendono a privilegiare il singolo atleta o la singola squadra sollecitando un diretto interesse. Una sotto-stima di questo problema è invece estremamente pericolosa. Anche tralasciando gli ovvi problemi legati alla sicurezza e alla prevenzione degli infortuni, lo sviluppo tecnologico in questo settore mette in luce problemi in parte nuovi di cui appaiono evidenti almeno due aspetti fondamentali:

1) E' soltanto parzialmente vero che la pista migliore favorisce in egual modo tutti gli atleti. Infatti:

a - il livello di miglioramento sarà superiore in quegli atleti che più hanno adeguato i meccanismi di controllo neuromuscolare alla nuova realtà, cioè quegli atleti che si sono allenati sulla stessa pista o su piste con eguali caratteristiche;

b - il livello di miglioramento sarà superiore in quegli atleti con caratteristiche di elasticità muscolare (elasticità propria del muscolo e elasticità legata ai meccanismi di retroazione) che meglio si adattano alle caratteristiche di elasticità della pista, sfruttandone così appieno le potenzialità.

2) Nascono evidenti necessità di adattamento dell'atleta al tipo di pista.

In tal senso è necessario, in una prima fase, effettuare tutta una serie di misure dei parametri biomeccanici e fisiologici del singolo atleta, creare cioè una « cartella clinica della biomeccanica dell'atleta » a cui le procedure precedentemente esposte, sono in grado di fornire una risposta soddisfacente. In una seconda fase si procederà al miglioramento dell'adattamento utilizzando sia metodi di allenamento mirati allo scopo, sia calzature opportune, dotate di caratteristiche elastiche specifiche per il singolo atleta.

Per concludere sembra opportuno a questo punto dissipare un dubbio: questa visione dell'atletica, per certi versi già realizzata nei fatti, in cui si ricercano piste artificiali e calzature od attrezzi con particolari caratteristiche, in cui l'atleta viene adattato a nuove situazioni con l'aiuto della scienza, non significa un piatto meccanicismo. Il che fra l'altro è rigettato da una visione scientifica rigorosa. La scienza sa infatti che la bontà di una prestazione dipende da un numero elevatissimo di variabili, molte delle quali non sono misurabili e, nel migliore dei casi, sono ipotizzabili solo sul piano statistico. Ciò rende di per sé il piatto meccanicismo una cosa senza senso.

E' d'altro canto vero che l'approccio scientifico precedentemente individuato, costituirà una linea di tendenza con cui i preparatori tecnici dovranno confrontarsi e a cui è opportuno prepararsi fin d'ora attraverso lo sviluppo di una adeguata politica di ricerca e di aggiornamento.

#### **Indirizzo degli Autori:**

*Prof. Antonio Pedotti*

*Prof. Renato Rodano*

*Centro di Bioingegneria*

*Politecnico di Milano*

*Via Gozzadini, 7*

*20148 Milano*

#### **BIBLIOGRAFIA**

- A. Pedotti, V.V. Krishnan, L. Stark: *Optimization of muscle-force sequencing in human locomotion*. (1978) *Mathematical Biosciences*, 38 pp. 57-76.
- T.A. McMahon, P.R. Greene: *The influence of track compliance on running*. (1979), *J. Biomechanics* Vol. 18, pp. 893-904.
- G.A. Cavagna: *Elastic bounce of the body*. (1970), *L. Appl. Physiology* Vol. 29, pp. 279-282.
- S. Boccardi, G. Chiesa, A. Pedotti: *New procedure for evaluation of normal and abnormal gait*. (1977), *Am. J. of Phys. Medicine*, Vol. 56, n. 4, pp. 163-182.
- S. Boccardi, A. Pedotti, R. Rodano, G.C. Santambrogio: *Evaluation of muscular moments at the lower limb joints by an on-line processing of kinematic data and ground reaction*. (1981), *J. Biomech.* Vol. 14, pp. 35-45.
- S. Boccardi, C. Frigo, A. Pedotti, R. Rodano,

G.C. Santambrogio: *Analysis of some athletic activities by means of vector diagrams*. (1979), *Science in Athletics*. Del Mar Publishers, pp. 183-192.

R. Rodano, G.C. Santambrogio: *Evaluation and comparison of the long and high jump take-off by means of vector diagrams*. (1979), *Biomechanische Untersuchungs Methoden in Sport*, Berlin pp. 101-112.

A. Pedotti, R. Rodano: *Preliminary results from a biomechanic analysis of the italian team of track and field*. (1980) *World Scientific Congress « Sport in Modern Society »* Tiblisi URSS.

B. Nigg, J. Denoth, P.A. Neukom: *The load on the lower extremities in selected sport activities*. (1979), *Int. Symp. « Man under vibration », Suffering and Protection »* Udine.

P.R. Cavanagh, M.A. LaFortune: *Ground reaction forces in distance running*. (1980), *J. Biomechanics*, Vol. 13, pp. 397-400.