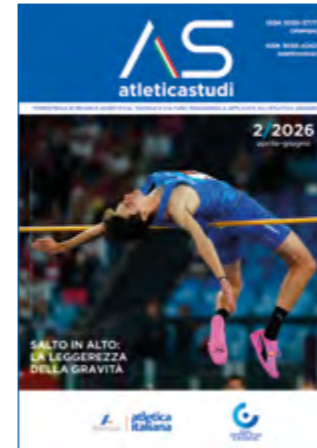


**2/2026**  
aprile-giugno

Poste Italiane S.p.A. - Spedizione in Abbonamento Postale - 70% - Aut. MBPA/PAC/01/2018/R.L.

**SALTO IN ALTO:  
LA LEGGEREZZA  
DELLA GRAVITÀ**



**Trimestrale di Ricerca Scientifica, Tecnica e Cultura Manageriale applicate all'Atletica Leggera**

Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 58 - 11 aprile 2024

**Organo ufficiale del Centro Studi & Ricerche della Federazione Italiana di Atletica Leggera**  
Numero 2/2026 - aprile-giugno 2026

**Presidente**  
Stefano Mei

**Consiglieri delegati al Centro Studi & Ricerche**  
Maurizio Affò, Zahra Bani, Domenico Di Molfetta

**Segretario Generale (facente funzioni)**  
Pierluigi Sorace

**Direttore responsabile**  
Massimo Benedetti

**Direttore editoriale**  
Giuliano Grandi

**Capo redattore**  
Federico Pasquali

**Redazione**  
Massimo Benedetti, Francesco Cuccotti, Giuliano Grandi

**Progetto grafico e coordinamento redazionale**  
Monica Macchiaioli

**Impaginazione e illustrazioni**  
Ugo Micheli

**Fotografie**  
Archivio FIDAL, Colombo/FIDAL, Grana/FIDAL, Mantovani, Moscati/FISPES, Freepik

**Direzione e redazione**  
FIDAL Centro Studi & Ricerche  
Via Flaminia Nuova, 830 - 00191 Roma  
fidal.it / centrostudi@fidal.it / Tel. 06-33484745

Abbonamento annuale (4 numeri) Euro 16,00, bonifico intestato a Federazione Italiana di Atletica Leggera sul conto corrente ordinario BNL (IBAN IT292010050330900000010107), causale "Abbonamento rivista AtleticaStudi 2026". Inviare la ricevuta di pagamento, specificando nome, cognome ed indirizzo completo per l'inserimento nell'indirizzario all'indirizzo mail: centrostudi@fidal.it

**Stampa**  
Tipografia Mancini s.a.s.  
Via Empolitana, 326 - 00019 Tivoli (Roma)

Manoscritti, documenti, fotografie e altri contributi redazionali inviati spontaneamente alla redazione di AtleticaStudi non verranno restituiti. Alcune immagini, aventi carattere puramente tecnico-didattico, sono state reperite sul web. Non essendo ivi indicati limiti di utilizzo ed essendone sconosciuto l'autore vengono riprese e pubblicate ma ci si dichiara disponibili a riconoscere ed indicare la titolarità o a rimuovere la stessa dietro eventuale richiesta dell'autore. Gli interessati possono segnalarlo al seguente indirizzo: centrostudi@fidal.it

## SOMMARIO

**3**  
**IL SALUTO DEL PRESIDENTE FIDAL**  
Stefano Mei

**5**  
**PRESENTAZIONE**  
Domenico Di Molfetta, Maurizio Affò, Zahra Bani

**9**  
**EDITORIALE**  
Giuliano Grandi

### SCIENZA / TECNICA / DIDATTICA

**14**  
**BIOMECCANICA DEL LANCIO DEL MARTELLO**  
Gian Mario Castaldi

**32**  
**LA RIN\_CORSA DEL CENTRO DI MASSA**  
Giulio Ciotti. Tutor: Gaspare Pavei

**50**  
**ANALISI DEL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL TENDINE DI ACHILLE IN PROVE DI CAMBI DI DIREZIONE**  
Gabriele Mantio, Mattia Braggio

**64**  
**TEORIA DEL CAOS ED ELEMENTI ALLENANTI: UNA VISIONE "ALTERNATIVA"**  
Antonio Dotti, Ida Nicolini, Franco Casarotti

**70**  
**UNA RIVOLUZIONE LENTA. LA SOSTITUZIONE DELLA TECNICA LINEARE CON QUELLA ROTATORIA NEL GETTO DEL PESO OLIMPICO DAL 1970 AD OGGI**  
Franco Merni, Simone Ciacci, Antonio Fent, Vincenzo Carandente Pirozzi, Sandro Bartolomei

### ATLETICA GIOVANILE E SCOLASTICA

**82**  
**IDENTIFICAZIONE DELL'AREA DI SPECIALIZZAZIONE, IN ATLETICA LEGGERA, MEDIANTE L'UTILIZZO DI TEST DI VALUTAZIONE PRESTATIVA NELLE FASCE GIOVANILI (SECONDA PARTE)**  
Edoardo Gnocchi. Tutor: Luca Bellini

**118**  
**APPROCCIO MULTILATERALE E ATLETICA LEGGERA: LA TENDENZA DELLE SOCIETÀ PIEMONTESI NELLE CATEGORIE RAGAZZI E RAGAZZE**  
Paolo Moisé, Fabio Dana

### MANAGEMENT SPORTIVO

**126**  
**L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE: APPLICAZIONI E TUTELA NELL'ATLETICA**  
Biagio Giancola

### SPORT E BENESSERE

**132**  
**PILLOLE DI NURIZIONE #5**  
**Interventi di nutrizione personalizzata negli atleti paralimpici: evidenze scientifiche e implicazioni cliniche**  
Francesca Giuliani

## Il saluto del Presidente FIDAL



**Stefano Mei**  
Presidente della Federazione  
Italiana di Atletica Leggera

Cari lettori,

l'atletica è uno sport semplice solo in apparenza. Dietro un lancio, una corsa, un salto, c'è un mondo fatto di dettagli invisibili, di equilibri sottili, di intuizioni che nascono dallo studio e si trasformano in gesto. È un continuo dialogo tra ciò che si vede e ciò che si deve ancora capire.

Sfogliando questo numero di *AtleticaStudi* si ha proprio questa sensazione: entrare dentro il cuore delle cose. La biomeccanica del lancio del martello, il movimento del centro di massa, il comportamento del tendine di Achille nei cambi di direzione... sono tutti tasselli di un puzzle affascinante, in cui ogni scoperta aggiunge un po' di chiarezza a un sistema complesso.

E poi ci sono gli sguardi che provano ad andare oltre, come quello che richiama la teoria del caos: perché l'atletica, per quanto studiata e analizzata, conserva sempre una componente imprevedibile, che è anche parte del suo fascino. Così come affascina la storia delle trasformazioni tecniche, come quella del getto del peso, dove innovazione e coraggio hanno lentamente cambiato il modo di interpretare una disciplina. Ma se c'è un filo che tiene insieme tutto, è quello che porta ai più giovani. Nei loro primi passi, nei test che aiutano a scoprire attitudini, nell'importanza di un approccio multilaterale, c'è il futuro dell'atletica. Un futuro che non ha fretta, ma ha bisogno di attenzione, competenza e visione.

Attorno a tutto questo ruota un sistema fatto di società, tecnici, dirigenti, e anche di cultura del benessere: perché la prestazione non è mai separata dalla qualità della vita, dall'educazione, dalla cura della persona.

È questo, in fondo, il bello dell'atletica: uno sport che continua a evolversi senza mai smettere di interrogarsi. Un ringraziamento sincero agli autori e a tutti coloro che contribuiscono, con il loro lavoro, ad arricchire il patrimonio di conoscenze del nostro movimento. A voi lettori, l'augurio di trovare in queste pagine nuovi spunti per crescere e far crescere l'atletica italiana. Buona lettura.

## Presentazione



**Domenico Di Molfetta**  
Consigliere Nazionale  
con delega  
Centro Studi & Ricerche



**Maurizio Affò**  
Consigliere Nazionale  
con delega  
Centro Studi & Ricerche



**Zahra Bani**  
Consigliere Nazionale  
con delega  
Centro Studi & Ricerche

Con l'uscita del secondo numero del 2026 di *AtleticaStudi* e del primo dei due supplementi annuali previsti, siamo giunti al giro di boa del terzo anno di vita della nuova serie della rivista.

Anche in questa occasione gli argomenti proposti affrontano tematiche di varia natura, una sorta di miscellanea di argomenti tecnico-scientifici accomunati dalla ferma volontà del Centro Studi & Ricerche di qualificarsi come network culturale aperto, la cui azione è coerente con l'adesione programmatica ad una visione sistemica dell'atletica, in virtù della quale si valorizzano e si qualificano le linee di comunicazione e di contaminazione positiva fra il mondo delle conoscenze e delle esperienze dell'intero sistema sportivo italiano. In effetti l'atletica leggera, intesa nella più ampia accezione del termine (footing, jogging, walking, ecc.), come dimostrano diverse indagini statistiche elaborate dall'ISTAT e da altre fonti di ricerca, non solo costituisce la base tecnica di tutte le discipline sportive, ma sta diventando sempre di più una libera modalità di pratica sportiva all'aria aperta per qualsiasi fascia di età e in molteplici contesti ambientali. Non è un caso che per supportare questa visione il numero 2-2026 di *AtleticaStudi* esca in contemporanea con il primo volume dell'originale e innovativo Manuale dedicato alle fasce di età delle categorie master, sicuramente utile ed interessante per tutti i praticanti.

Ciò facendo si intende arricchire il percorso di formazione continua dei tecnici con molteplici proposte originali, utili per ampliare la visione delle affascinanti ma complesse problematiche che caratterizzano l'atletica leggera.

Come noto, la teoria dell'allenamento non è una scienza esatta, ma un'attività empirica condizionata da diversi fattori (umani, ambientali, tecnici, tecnologici, ecc.), alla quale gli attuali paradigmi tecnico-scientifici universalmente accertati conferiscono uno straordinario valore aggiunto. È il caso degli studi e delle conoscenze biomeccaniche applicate al gesto sportivo, opportunamente approfonditi nelle tre indagini che ora proponiamo sul lancio del martello, sul salto in alto e sull'analisi del comportamento meccanico del tendine di Achille in prove di cambi di direzione, frutto degli studi di un esperto allenatore federale di quarto livello europeo, il primo, del project work di un nuovo allenatore specialista, il secondo, e di un'interessante ricerca di un efficace binomio "allenatore-scienziato", il terzo. La prospettiva di studio dell'articolo riguardante la "rivoluzione lenta" della sostituzione della tecnica lineare con quella rotatoria nel lancio del peso è affidata alle scienze statistiche prendendo in considerazione i risultati delle gare e in secondo luogo le informazioni relative alle tecniche utilizzate dagli atleti dal 1970 ad oggi. Un ulteriore approccio riguarda le stimolanti riflessioni e gli emergenti concetti sull'evoluzione del pensiero scienti-



fico applicati allo sport, che illumina le menti degli allenatori su moderni approcci sistemici alle note e consolidate teorie dell'allenamento attualmente in vigore.

L'attenzione costantemente rivolta nei confronti delle varie sfaccettature dell'attività giovanile vuole essere di stimolo per la vasta e crescente platea di nuovi tecnici, in particolare gli istruttori, che sicuramente dovranno confrontarsi con la straordinaria gamma di problematiche, ma anche di opportunità, che le fasce di età giovanili manifestano, accentuate dalle crescenti difficoltà dei genitori a coniugare "lavoro e famiglia" e dalla complessità del periodo socio-economico che la società italiana sta attraversando.

Oltre all'interesse specifico che orienta la scelta dei cultori delle specialità illustrate, la validità dei lavori accolti sta nel metodo adottato e nell'approccio scientifico scelto, in tutti i casi utili per qualsiasi fascia di lettori che desideri cogliere spunti di riflessione per coltivare i propri interessi con nuovi stimoli culturali. Un conclusivo punto di interesse riguarda l'inaspettata e vasta adesione dei tecnici e studiosi italiani, i quali attraverso pregevoli contributi editoriali manifestano attivamente la volontà di partecipare e contribuire concretamente allo sviluppo e all'affermazione di *AtleticaStudi*, un progetto culturale che numero dopo numero sta riscuotendo apprezzamenti e crescenti adesioni.



## EDITORIALE

Giuliano Grandi

I processi del sapere non possono essere ridotti alla produzione di algoritmi sempre più potenti, ma, al contrario, richiedono un adeguato livello di responsabilità umana e di valutazione etica (Papa Leone XIV)

Considerate la vostra semenza  
Fatti non foste a vivere come bruti  
Ma per seguire virtute e canoscenza  
(Dante Alighieri, Divina Commedia,  
Inferno, XXVI, 118-120)

Foto di Nicolò Montanari

Il dirompente ingresso nella società civile e nel mondo produttivo dell'intelligenza artificiale (IA oppure AI) sta causando gli stessi effetti, positivi e negativi, che ebbe a fine ottocento la seconda rivoluzione industriale, con profondi cambiamenti e innovazioni che incisero profondamente sulla crescita economica dei paesi più industrializzati, aumentando tuttavia contemporaneamente la dimensione delle disuguaglianze fra i vari strati sociali della popolazione.

Che cos'è l'intelligenza artificiale? La Commissione Europea dà la seguente definizione: *“L'intelligenza artificiale (IA) è l'abilità di una macchina di mostrare capacità umane quali il ragionamento, l'apprendimento, la pianificazione e la creatività. L'intelligenza artificiale permette ai sistemi di capire il proprio ambiente, mettersi in relazione con quello che percepisce e risolvere problemi, e agire verso un obiettivo specifico. Il computer riceve i dati (già preparati o raccolti tramite sensori, come una videocamera), li processa e risponde. I sistemi di IA sono capaci di adattare il proprio comportamento analizzando gli effetti delle azioni precedenti e lavorando in autonomia”*.

Premesso che il progresso scientifico, in questo caso l'IA, è una risorsa tecnologica preziosa che non va demonizzata, occorre porre al centro della questione l'inderogabile necessità di gestirla pensando al bene comune e non all'interesse economico o politico di pochi, chiedendoci responsabilmente se il ritmo di evoluzione della scienza e della tecnica sia coerente con quello

della cultura, dell'etica e del senso di umanità. È quindi urgente adottare iniziative etiche, morali, sociali e anche organizzative per alzare l'asticella del "vivere civile", al fine di diminuire il gap che si è drammaticamente ampliato tra i due fenomeni.

A tal fine è stimolante richiamare l'attenzione dei lettori su un illuminante aneddoto storico, risalente ai tempi di Pericle. Si narra che, durante l'epoca di Pericle (431-403 a.C.), un giavellotto, in occasione di una gara sportiva, colpì uno spettatore. Protagora, filosofo sofista dell'epoca, intavolò un ragionamento con l'amico imperatore ponendo a sé e al condottiero il quesito se la responsabilità fosse da ascrivere all'atleta, allo spettatore o all'organizzatore. Provando a mettere su un grafico questo aspetto, assegnando alle ascisse lo scorrere del tempo da allora ad oggi e alle ordinate la crescita delle tecnologie in vigore e della percezione etica, non è difficile notare che il gap tra i due fenomeni si è ampliato con andamento esponenziale. Allora si combatteva con archi, frecce e lance, e si ponevano quesiti etici di questa natura; ora si adottano armi di distruzione di massa, che quotidianamente lasciano vittime tra bambini, donne e popolazione civile, quindi sensibilità, umanità e percezione dei valori etici non sono aumentati, ma forse diminuiti.

Come in tutte le rivoluzioni tecnologiche, accompagnate da un rilevante impatto socio-economico l'IA, allo stato attuale, è accompagnata contestualmente da vantaggi, opportunità e rischi.

I vantaggi sono percepibili con una certa facilità considerando i miglioramenti che ne possono derivare a beneficio dei cittadini, quali: assistenza sanitaria, sicurezza in alcuni ambienti di lavoro, trasporto, prodotti e servizi su misura, facilità nell'accesso all'informazione ed alla formazione, nuova generazione di prodotti e servizi, competitività delle imprese, sicurezza, prevenzione dei reati, benefici nei servizi pubblici (Green Deal europeo), prevenzione della disinformazione, rafforzamento della democrazia, ecc.

Purtroppo questi vantaggi sono accompagnati da rischi altrettanto rilevanti, se non superiori, quali: abuso, impiego errato, utilizzo fuorviante in ambito sociale, minaccia ai diritti fondamentali dei cittadini e alla democrazia, alla protezione dei dati personali, alla privacy, al diritto alla vita privata, problemi per la trasparenza e rischi per la sicurezza, creazione di immagini, video e audio falsi ma estremamente realistici, noti come deep fake, che possono essere usati per truffare, rovinare la reputazione e mettere in dubbio la fiducia nei processi decisionali. Tutto questo rischia di condurre alla polarizzazione del dibattito pubbli-

co e alla manipolazione delle elezioni. Creazione delle "bolle" in rete, dove i contenuti sono presentati in base ai contenuti con cui l'utente ha interagito in passato, invece di creare un ambiente aperto per un dibattito a più voci, inclusivo e accessibile. Inoltre l'uso dell'intelligenza artificiale potrebbe portare alla scomparsa di molti posti di lavoro. L'auspicio è quello che ne vengano creati altri e migliori; cruciale a questo proposito che ci sia l'adeguata formazione affinché i disoccupati possano accedervi e affinché ci sia una forza lavoro qualificata a lungo termine. Purtroppo, quest'ultimo è soltanto un ottimistico auspicio.

Alcune dichiarazioni di autorevoli protagonisti della politica economica del paese fanno pensare che l'obiettivo delle imprese sia quello della produttività, investendo di conseguenza sulla IA per diminuire il costo del lavoro, e in tal modo aumentare la crescita e la competitività al fine di finanziare gli investimenti nello stato sociale. Ciò tradotto in termini popolari significa che la diminuzione dei posti di lavoro conseguenti all'introduzione dell'IA potrà essere compensata da adeguati sussidi ai nuovi disoccupati, i quali per età avanzata o basi culturali non hanno potuto reggere il ritmo della formazione tecnologica, con buona pace alla dignità della persona umana. Crescita tecnologica esponenziale a fronte di un immobilismo e arretramento sul piano dell'umanità.

Dante Alighieri e Leone XIV, a parecchi secoli di distanza l'uno dall'altro, affrontano con lungimiranza ed incisività temi profondamente attuali e drammatici, fra i quali primeggia l'inarrestabile affermazione dell'intelligenza artificiale, attualmente "sotto i riflettori" non solo tra gli studiosi ma dell'intera opinione pubblica. Leggendo bene i tre versi di Dante si coglie un aspetto rivoluzionario: l'indole e l'intelletto umano, spinti dal desiderio di conoscenza, ci inducono ad affrontare nuove sfide, cercando di raggiungere traguardi sempre più ambiziosi ed apparentemente irraggiungibili, anche a costo della propria vita, come fece in quel caso Ulisse varcando le colonne d'Ercole certo di trovare la morte. Di questo pensiero, tuttavia, ne va colto il significato profondo, riflettendo sul fatto che la "virtute" viene prima della "canoscenza", o in ogni caso i due termini sono contestuali, cioè sì al progresso ma non a tutti i costi.

Papa Leone XIV, seguendo le orme di Papa Francesco e riallacciandosi ad alcuni pontefici che lo hanno preceduto (tra i quali bellissimo il richiamo alla posizione che Papa Leone XIII assunse emanando l'Enciclica *Rerum Novarum*), affronta con straordinaria forza e lungimiranza il tema della dottrina sociale della chiesa nel tempo dell'intel-

ligenza artificiale ponendolo al centro della sua prima Enciclica *Magnifica Humanitas*, emanata il 25 maggio 2026 nel 135° anniversario di *Rerum Novarum*. Al di là delle scelte confessionali individuali di ciascuno questa Enciclica dovrebbe essere letta da tutte le persone di buona volontà, soprattutto le giovani generazioni.

Il tema dell'intelligenza artificiale non è nuovo per la Chiesa. Ricordiamo innanzitutto alcuni passaggi sulla posizione della Chiesa, puntualmente ed efficacemente ribadita dai due ultimi Pontefici,

sorretti da studiosi di prima grandezza e da incrollabili principi religiosi.

*"L'IA non è neutra. È uno strumento potente, e come ogni potere porta con sé il rischio della manipolazione, della disuguaglianza, della violenza, accompagnata da una comunicazione digitale sempre più governata da logiche di ottimizzazione e calcolo: le fake news, i deep fake, la manipolazione dell'opinione pubblica non sono incidenti, ma sintomi di una crisi della verità. L'intelligenza artificiale può essere l'arma perfetta*



per chi intende piegare la realtà a una narrazione strumentale”.

Nella sua ultima Enciclica, la *Dilexit nos*, Papa Francesco ha affermato tra l'altro che *“nell'era dell'intelligenza artificiale, non possiamo dimenticare che per salvare l'umano sono necessari la poesia e l'amore. L'IA non possa mai sostituire ciò che è specificamente umano: la coscienza morale, il discernimento, la relazione autentica con l'altro. La macchina può imitare, ma non comprendere; può processare, ma non giudicare; può apprendere, ma non amare. È qui che si gioca il confine, sempre più sottile, tra simulazione e realtà”*.

*“Nel tempo in cui gli algoritmi decidono chi vedrà cosa, chi otterrà un prestito, chi verrà selezionato per un colloquio di lavoro, l'etica non può più essere un lusso”*. Papa Francesco ha chiesto esplicitamente un trattato internazionale vincolante che regoli l'uso dell'intelligenza artificiale. Non solo per evitare abusi, ma per stimolare la responsabilità. Ha chiesto che nei dibattiti pubblici vengano ascoltate anche le voci degli esclusi: i poveri, i migranti, i bambini, coloro che non hanno accesso

alla tecnologia ma ne subiscono gli effetti. Nasce quindi *“l'urgenza di sviluppare un'etica dell'intelligenza artificiale che metta al centro la dignità della persona umana. Non una retorica astratta, ma una linea di resistenza: la persona come valore non computabile, non surrogabile. E questo significa, tra l'altro, che l'AI deve restare al servizio dell'umano, non sostituirlo. Non tutto ciò che è tecnicamente possibile è moralmente accettabile. La vera intelligenza non è quella che analizza dati, ma quella che sceglie responsabilmente, con coscienza. In una parola: quella che discerne”*.

Dopo avere richiamato in sintesi alcuni straordinari aspetti etici e morali dell'AI, magistralmente esposti nei documenti della Chiesa, analizziamo ora la posizione della Commissione Europea, la quale con l'approvazione dell'AI Act affronta i rischi dell'IA e posiziona l'Europa per svolgere un ruolo di leadership a livello globale.

Il Regolamento (UE) 2024/1689 (AI Act) del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 giugno 2024 stabilisce il Regolamento sull'intelligenza artificiale, il primo quadro giuridico completo

sull'IA a livello mondiale, e stabilisce regole armonizzate sull'intelligenza artificiale. Lo scopo delle regole è promuovere IA affidabile in Europa. L'AI Act garantisce che gli europei possano fidarsi di ciò che l'IA ha da offrire.

Il diritto fondamentale alla protezione dei dati personali è garantito in particolare dai regolamenti (UE) 2016/679 e (UE) 2018/1725 del Parlamento europeo e del Consiglio e dalla direttiva (UE) 2016/680 del Parlamento europeo e del Consiglio. La direttiva 2002/58/CE del Parlamento europeo e del Consiglio tutela inoltre la vita privata e la riservatezza delle comunicazioni, in particolare stabilendo le condizioni per l'archiviazione di dati personali e non personali e l'accesso ai dati in apparecchi terminali.

Anche il mondo della scienza si pone diversi quesiti. Hany Faïd, pioniere e ricercatore dell'informatica forense all'Università della California a Berkeley, in un'intervista pubblicata sulla rivista *“Le Scienze”* nel mese di aprile 2006, afferma che *“l'equivoco più grosso sia proprio pensare che si tratti di intelligenza artificiale. Io preferisco chiamarla <miscelatore di token>. Quello che fanno questi sistemi è prendere enormi quantità di testo, ridurre le parole a token numerici e poi applicare una sorta di sofisticato completamente automatico”*. Egli sostiene che *“se vogliamo un mondo in cui le prove contino ancora qualcosa, dobbiamo ricostruire le regole di responsabilità e attaccare i punti critici che rendono economico e redditizio l'inganno digitale”*. Egli pone con forza il tema della fiducia nell'era dell'IA, in quanto ciò che è stato vissuto sinora in termini di disinformazione sarà esponenzialmente amplificato dall'IA generativa, creando un generale clima di sfiducia non potendo più distinguere ciò che è vero da ciò che è falso.

Come si è visto l'argomento si può affrontare da diversi punti vista: scientifici, etici, morali, giuridici, ecc. Il sistema sportivo indubbiamente non è esente dalle emergenti implicazioni che il naturale e inevitabile utilizzo di queste nuove tecnologie comporta. Infatti, il mondo dello sport, in questi ultimi anni, si è buttato a capofitto nella *“miracolosa”* nuova tecnologia del terzo millennio, quasi fosse un nuovo dio che ci risolve tutti i problemi: l'intelligenza artificiale (IA), fenomeno che del resto sta coinvolgendo il più ampio contesto socio-economico del mondo industrializzato. Le implicazioni giuridiche che ciò comporta sono state e sono tuttora oggetto di attenzione e di provvedimenti da parte delle autorità europee e nazionali, assai lontane dall'aver esaurito le motivazioni che ne legittimino l'adozione, soprattutto nell'ambito del vasto sistema sportivo, inteso nella più ampia accezione del termine.

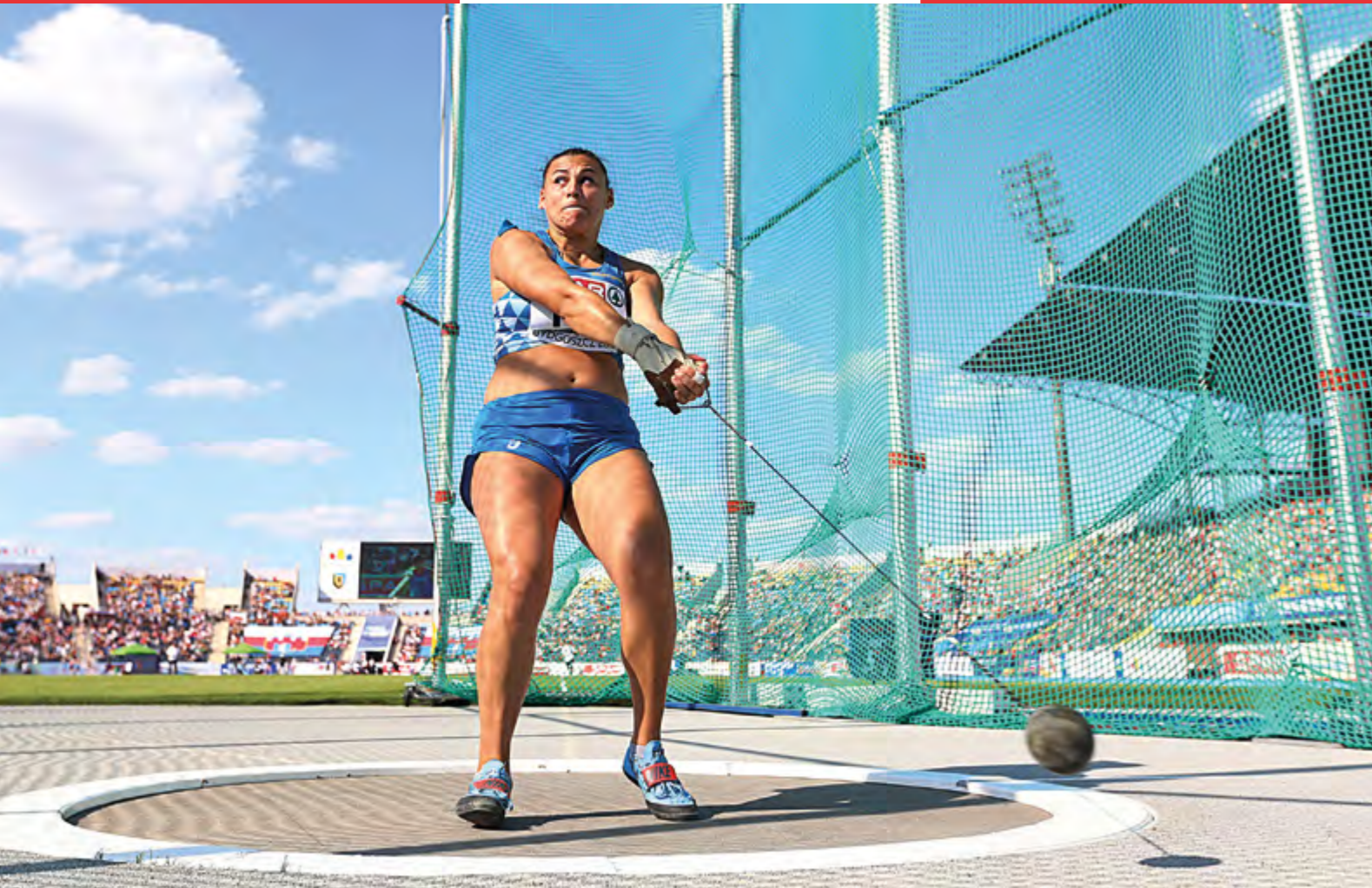
Sicuramente l'aspetto più impattante riguarda l'applicazione del Regolamento europeo sulla protezione dei dati personali (reg. (UE) 2016/679), in relazione al quale il sistema sportivo non si è ancora completamente adeguato, in quanto le opportunità e le modalità applicative dell'IA impongono un diverso standard di acquisizione del consenso informato e di autorizzazione ad utilizzare i dati personali, degli atleti in primo luogo, ma anche dei coach, dei preparatori atletici, medici, fisioterapisti, di collaboratori vari, del pubblico, di ciascuno dei quali vengono acquisite informazioni ed immagini sensibili, che potrebbero essere utilizzate con modalità non condivise se non addirittura in modo fraudolento e/o mistificatorio. Le tecnologie di protezione di questi dati sono adeguate a garantirne la totale riservatezza? Diversi interrogativi investono anche la problematica più semplice da affrontare riguardante le immagini effettuate in occasione del cosiddetto *“sport spettacolo”* e delle competizioni sportive in genere, in relazione alle quali occorre alzare l'asticella in merito agli autori delle riprese e a ciò che è legittimo riprendere, inclusa la consapevolezza di coloro che vengono ripresi in qualsiasi atteggiamento, oltre alla gara in sé.

Ampliando il ragionamento alla creazione di database strutturati relativi alla molteplicità di aspetti che riguardano la vita sportiva (e non solo) degli atleti (anche minorenni), appare evidente che l'acquisizione di dati (inclusi foto e video) relativi, ad esempio, a misure antropometriche, allenamenti e test tecnico-scientifici, controlli medici di qualsiasi natura, nutrizione, analisi biomeccaniche, ecc., devono essere gestiti con modalità assolutamente nuove, frutto di un adeguato disciplinare (codice di autoregolamentazione) che ciascuna Federazione dovrà intraprendere nelle more dell'emanazione di opportune direttive di legge a livello europeo e di conseguenza nazionale.

L'articolo dell'avv. Biagio Giancola, che proponiamo in esclusiva su questo numero, analizza il fenomeno nel suo complesso e affronta tutti gli aspetti della recente normativa Europea applicati allo sport, in particolare all'atletica leggera, illustrando con impareggiabile competenza giuridica e sensibilità culturale le linee di condotta assolutamente innovative che dovranno quanto prima essere adottate dal *“Sistema Sportivo”*, non solo a livello nazionale.

Ancora una volta la FIDAL, tramite la propria rivista *AtleticaStudi*, organo dello storico Centro Studi & Ricerche, si propone come leader culturale di una *“Magnifica Humanitas”* che nello sport può trovare uno straordinario testimone.





# BIOMECCANICA DEL LANCIO DEL MARTELLLO

## Gian Mario Castaldi

Nato a Firenze nel 1969, allenatore di IV Livello europeo, insignito della Palma d'oro al merito tecnico, allena le discipline di lancio da oltre trent'anni e ha portato venti atleti al podio nazionale, nove a vestire la maglia azzurra, uno a partecipare ai Giochi olimpici e uno a vincere due volte i Deaflympics. È stato responsabile del Centro Studi Fidal Lombardia ed è attualmente Direttore Tecnico della Nazionale per la FSSI. Laureato in Economia presso l'Università Bocconi e in Scienze Motorie presso l'Università del Foro Italico di Roma, sta conseguendo il dottorato in bioingegneria dello sport con una tesi sulla biomeccanica del lancio del martello.

Sara Fantini, Campionati europei a squadre,  
Bydgoszcz 2019

Il lancio del martello è una disciplina affascinante e complessa, le cui radici affondano negli Highland Games scozzesi e che ormai figura tra le specialità olimpiche da oltre un secolo. Nonostante l'indubbio interesse che suscita tra scienziati e tecnici, la letteratura scientifica dedicata alla sua biomeccanica rimane sorprendentemente esigua rispetto ad altre prove dell'atletica leggera. Questo studio di Gian Mario Castaldi colma in parte quella lacuna, offrendo una rassegna critica e sistematica degli articoli scientifici e dei principali contributi tecnici pubblicati a partire dagli anni Ottanta, decennio in cui Yuri Sedykh stabilì l'ancora imbattuto record del mondo. L'analisi si articola attorno a quattro grandi aree tematiche: gli aspetti balistici e aerodinamici, la cinematica dei centri di massa, le caratteristiche orbitali dell'attrezzo e le forze in gioco nel lancio. Emerge

con chiarezza come, una volta ottimizzati l'angolo e l'altezza di rilascio, la velocità tangenziale al momento del rilascio rappresenti la variabile decisiva per la lunghezza del lancio. Particolare attenzione è dedicata all'angolo di separazione tra bacino e torace, elemento tecnico cruciale per incrementare la velocità periferica del martello, e alla distinzione tra fase di doppio e singolo appoggio, momenti nei quali il sistema atleta-attrezzo si comporta in modo profondamente diverso. Lo studio individua anche le principali lacune della ricerca attuale, dalle rotazioni preliminari alla torsione dell'orbita, indicando nella tecnologia indossabile la nuova frontiera per approfondire la conoscenza di questa affascinante specialità.

Federico Pasquali

## INTRODUZIONE

Il lancio del martello è una disciplina dalle caratteristiche biomeccaniche uniche, che spesso hanno catturato l'interesse di scienziati e allenatori di atletica leggera. Tuttavia la maggior parte degli studi è stata pubblicata su riviste tecniche per allenatori, e ci sono solo pochi lavori sugli aspetti biomeccanici del lancio del martello nella letteratura scientifica. Questo studio fornisce una valutazione critica degli articoli pubblicati su riviste scientifiche e sulle più rilevanti riviste tecniche, con particolare attenzione agli aspetti biomeccanici che sono alla base del lancio e contribuiscono al miglioramento delle prestazioni. La tecnica di lancio moderna presenta molti elementi in comune con quella utilizzata dai migliori lanciatori degli anni Ottanta, pertanto è stata presa in considerazione la letteratura a partire da allora. Nella nostra trattazione verrà messo in rilievo come nella specialità del lancio del martello, una volta che il lanciatore ha raggiunto una buona efficienza e stabilità tecnica nell'esecuzione del movimento, il fattore più importante per massimizzare la lunghezza del lancio è far raggiungere alla testa del martello la velocità lineare maggiore possibile al momento del rilascio dell'attrezzo. Per ottenere questo, il lanciatore deve imprimere quindi un'accelerazione al martello, la quale a propria volta è ottenuta tramite l'applicazione di forza. Nel lancio sono coinvolti tre sistemi: il sottosistema "martello", il sottosistema "lanciatore" e l'intero sistema "martello-lanciatore". La curva della velocità tangenziale del martello rispetto al tempo segue un andamento molto simile a quello delle forze applicate al sistema martello-lanciatore rispetto al tempo, a dimostrazione del rapporto che lega le due variabili. Il lanciatore, in particolare, utilizza l'azione e i muscoli delle gambe per generare una certa quan-

tità di moto, inoltre deve usare l'azione e i muscoli del tronco e delle braccia per trasferirla al martello, e questo fa aumentare la velocità lineare del martello. Le accelerazioni possono essere impresse ai centri di massa del martello, del lanciatore e del sistema martello-lanciatore durante la fase di doppio appoggio, quando il lanciatore ha entrambi i piedi a contatto con la pedana ed è quindi in grado di aggiungere energia al sistema lanciatore-martello. Invece, nella fase di singolo appoggio, per la legge di conservazione della quantità di moto in un sistema chiuso, l'energia può solo essere trasferita dal lanciatore al martello, e viceversa. Dopo una descrizione del gesto, vengono considerate le caratteristiche dei movimenti del centro di massa dell'intero sistema nel suo moto roto-traslatorio attraverso la pedana. Sono considerati anche i movimenti dei due sottosistemi, facendo particolare riferimento a come la loro interazione caratterizzi la rotazione del martello attorno al lanciatore. Viene quindi descritto l'angolo di separazione tra l'asse delle anche e quello delle spalle, che è un elemento tecnico cruciale per incrementare la velocità tangenziale. Infine, l'esposizione degli argomenti trattati nella letteratura scientifica del lancio del martello si conclude con un'analisi dinamica del movimento, che descrive quali forze vengono applicate, e come, al martello, al lanciatore e al sistema martello-lanciatore.

## DESCRIZIONE DELLA SPECIALITÀ

Il lancio del martello è una disciplina relativamente recente se paragonata alle altre gare dell'atletica leggera, molte delle quali erano già presenti nell'antichità classica, come le gare di corsa o il lancio del disco. Le origini risalgono agli Highland Games, dove si lanciava un vero e proprio martello da fabbro. Il

lancio del martello è presente ai Giochi olimpici dal 1900 per gli uomini e dal 2000 per le donne (Queretani, 2014; Castaldi, 2021). La disciplina consiste nel lanciare con entrambe le mani più lontano possibile un attrezzo costituito da una sfera di metallo, un filo d'acciaio ed una maniglia di metallo, da una pedana circolare di 2,135 m, in un settore dell'ampiezza di 34,92°deg (in tutto questo lavoro si farà riferimento ai gradi sessagesimali), che ha origine al centro della pedana. Per gli uomini l'attrezzo ha una massa minima di 7,260 kg, una lunghezza massima di 121,5 cm e il diametro della sfera tra 11 cm e 13 cm. Per le donne, la massa è di 4 kg min, la lunghezza di 119,5 cm max e il diametro della sfera tra 9,5 cm e 11 cm. Le regole sono disciplinate dalla Federazione internazionale e da circa quindici anni sono uguali in tutto il mondo, anche a livello giovanile (World Athletics, 2020). Il record del mondo maschile è 86,74 m (Yuri Sedykh, Stuttgard, 30/8/1986) e quello femminile è 82,98 m (Anita Włodarczyk, Varsavia, 28/8/2016).

La tecnica di lancio comunemente utilizzata (Fig. 1) consiste in una serie di rotazioni preliminari seguite da una serie di giri, e termina con il rilascio dell'attrezzo (Bondarchuk, 1987; Burke, 1989; Gaede, 1990). Nelle rotazioni preliminari (solitamente due o tre) il martellista sta in piedi nella parte posteriore della pedana (quella opposta alla direzione di lancio) con le spalle rivolte al settore di lancio e fa ruotare il martello sopra la sua testa in senso antiorario (per tutto il paper si farà riferimento a un lanciaiatore destrimano). Queste rotazioni servono per vincere l'inerzia del martello, che inizialmente è fermo, posizionarlo su un'orbita e dargli una velocità adatta per iniziare la fase successiva (Dapena, 1986; Dapena 1989). Dopo le rotazioni preliminari il lanciaiatore compie tre o quattro giri su se stesso (raramente cinque) tenendo il martello con entrambe le mani. Durante i giri il lanciaiatore effettua un movimento combinato di rotazione e traslazione (Susanka, 1986; Murofushi, 2005). Infatti, il piede sinistro è sempre a contatto con la pedana, attraverso la quale fa una traslocazione con

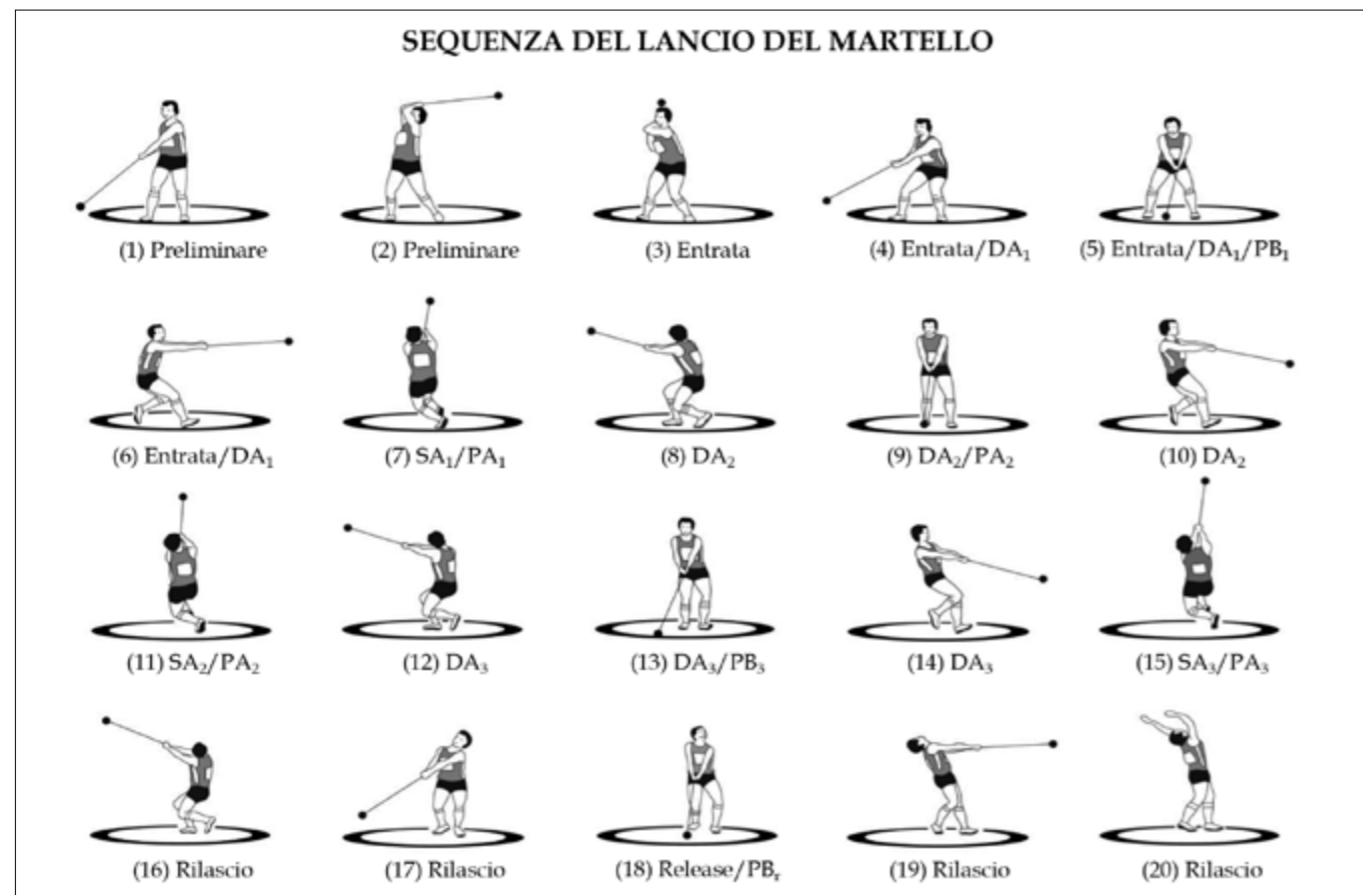


FIGURA 1. Fasi del lancio del martello. Preliminari [1-3]. Entrata [3-4-5-6]. Singolo appoggio del primo giro SA1 [6-8]. Doppio appoggio del secondo giro (DA2) [8-10]. Singolo appoggio del secondo giro (SA2) [10-12]. Doppio appoggio del terzo giro (DA3) [12-14]. Singolo appoggio del terzo giro (SA3) [14-16]. Rilascio [16-20]. Primo giro (G1) [3-8]. Secondo giro (G2) [8-12]. Terzo giro (G3) [12-16]. Punto basso del martello nel primo giro (PB1) [5]. Punto basso del martello nel secondo giro (PB2) [9]. Punto basso del martello nel terzo giro (PB3) [13]. Punto basso al rilascio (PBR) [18]. Punto alto del martello nel primo giro (PA1) [7]. Punto alto del martello nel secondo giro (PA2) [11]. Punto alto del martello nel terzo giro (PA3) [15].

una serie di passaggi dalla punta al tallone. In questo modo il lanciaiatore passa dal bordo posteriore della pedana a quello anteriore, dal quale il giudice misura il lancio (Otha, 2010; Brice, 2011). Simultaneamente il piede destro alterna fasi in cui è a contatto con la pedana e fasi in cui è sollevato.

Vista la struttura rotatoria del lancio, nella letteratura tecnica, per orientarsi nella sua descrizione, si è soliti fare riferimento agli "angoli azimutali" (Samozvetov, 1974). Un angolo azimutale dà la posizione del martello rispetto al centro di massa del sistema in una visione dall'alto e viene usato per definire l'istante in cui si verifica un evento all'interno di un giro (Fig. 2). In ogni giro si possono distinguere pertanto due fasi di circa mezzo giro ciascuna: una fase di doppio appoggio (DA) e una fase di singolo appoggio (SA). Durante la fase di doppio appoggio il martello raggiunge il suo punto più basso (PB) e durante la fase di singolo appoggio il suo punto più alto (PA). Durante i giri, la fase di doppio appoggio inizia solitamente con angoli azimutali di 230°-270° e termina con angoli azimutali di 40°-90° a seconda della tecnica del lanciaiatore (Bondarchuk, 1987) (Fig. 2). L'ultima fase del lancio è il rilascio, in cui il lanciaiatore si posiziona con entrambi i piedi in pedana, con le spalle rivolte al settore di lancio ed estende le gambe e le anche con una simultanea torsione della parte superiore del corpo, ed infine rilascia l'attrezzo a circa 90° azimutali (Fig. 1) (Susanka, 1986; Murofushi, 2005; Otha, 2010; Brice, 2011; Dapena 1984; Dapena, 1986; Dapena, 1989; Dapena, 1989).

### ASPETTI BALISTICI E AERODINAMICI

Il martello, dal momento in cui si stacca dalle mani del lanciaiatore, segue il moto di un proiettile. A differenza di altri attrezzi dell'atletica leggera, come il disco o il giavellotto, in cui gli aspetti aerodinamici giocano un ruolo importante, nel lancio del martello la differenza di forma e di lunghezza della traiettoria dell'attrezzo in condizioni ambientali reali (che saranno analizzate nei prossimi paragrafi) rispetto ad un ipotetico lancio nel vuoto, sono molto minori. In assenza d'aria, il martello dopo il rilascio segue un moto parabolico la cui lunghezza dipende dall'altezza di rilascio, dall'angolo di rilascio e dalla velocità di rilascio. La traiettoria del centro di massa del martello è una parabola la cui gittata può essere determinata dalla seguente equazione:

$$L = v_0^2 \cos\theta \frac{\sin\theta + \sqrt{\sin^2\theta + \frac{2gh_0}{v_0^2}}}{g} \quad (1.1)$$

dove,  $v_0^2$  è la velocità del martello all'istante del rilascio,  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $h_0$  la quota all'istante del rilascio e  $\theta$  l'angolo di rilascio rispetto all'orizzontale. Da un punto di vista matematico, l'equazione ci indica che la gittata aumenta all'aumentare della quota iniziale e della velocità di uscita del martello, mentre per l'angolo di uscita il valore ottimale varia al variare delle altre due variabili (Pozzo, 1992; Brice, 2018).

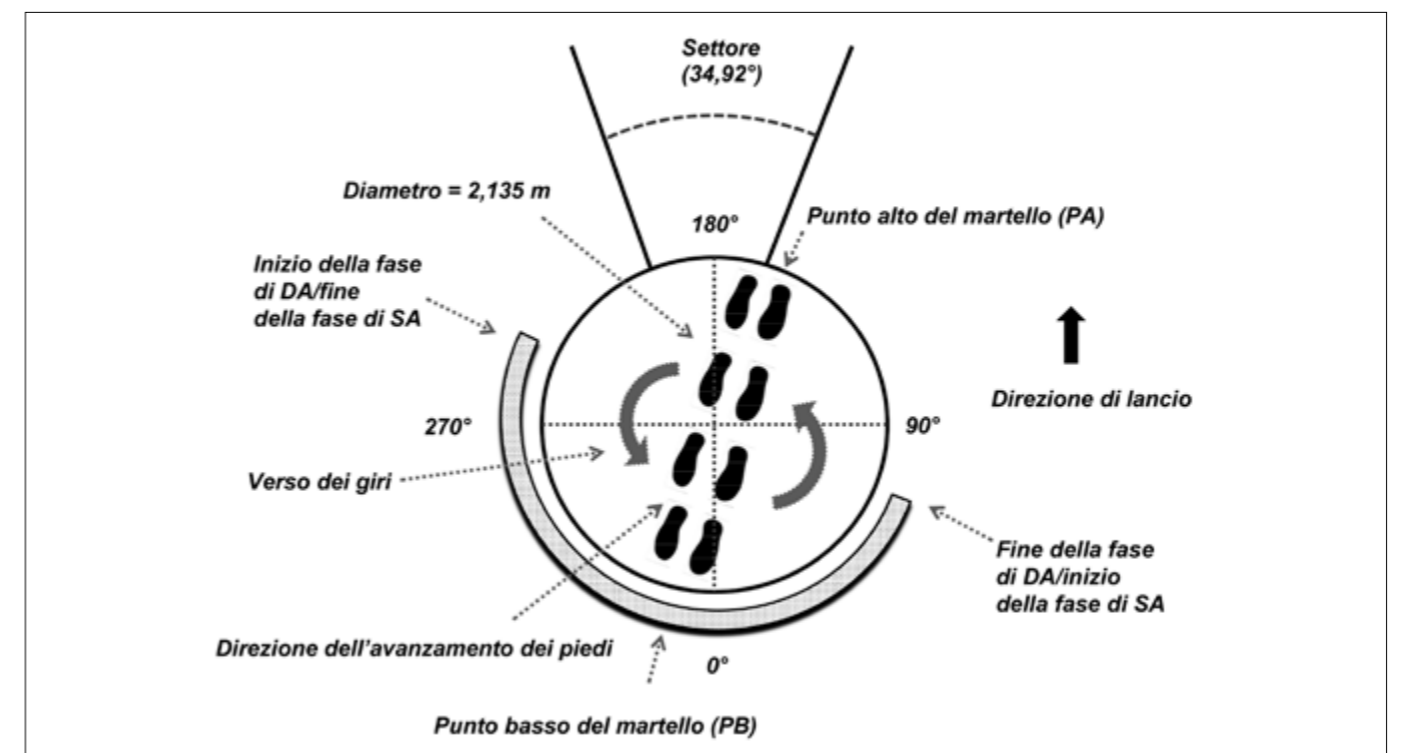


FIGURA 2. Posizionamento azimutale del punto alto del martello (PA), del punto basso del martello (PB), della fase di singolo appoggio (SA) e della fase di doppio appoggio (DA).

Considerando il movimento del lancio possiamo fare delle considerazioni aggiuntive. Se l'obiettivo del lanciatore è massimizzare la lunghezza del lancio, egli deve trovare la combinazione ottimale delle tre variabili (velocità, angolo e altezza di rilascio) (Otto, 1990; Dapena, 2003). Con la tecnica di lancio attuale, anche considerando tutte le interpretazioni tecniche soggettive, l'altezza di rilascio è fortemente condizionata dalle caratteristiche antropometriche del lanciatore ed è pari circa all'altezza delle spalle da terra. Bartoniez (2008) fa notare che l'ipotetico vantaggio dato dalla ricerca da parte del lanciatore di un'altezza di rilascio dell'attrezzo maggiore a quella delle spalle determinerebbe una diminuzione della velocità di rilascio eccessiva, con un conseguente accorciamento della lunghezza del lancio.

Data un'altezza di rilascio pari a circa quella delle spalle, l'angolo di rilascio ottimale è leggermente inferiore a 45°. In particolare, per lanci di lunghezza variabile da 60 m a 80 m è di circa 44°. Nella realtà, però, si osserva che la tendenza dei lanciatori è quella di lanciare con un angolo di uscita inferiore, dai 40° ai 42°, con una certa variabilità da atleta ad atleta (Pavlovic, 2020a; Pavlovic, 2020b; Pavlovic, 2020c). La differenza tra l'angolo ottimale e quello osservato nei lanci dei migliori lanciatori è da attribuire a un compromesso tecnico: la ricerca del suddetto angolo ottimale dal punto di vista matematico determinerebbe una diminuzione della velocità di uscita eccessiva ai fini della massimizzazione della lunghezza del lancio (Bartoniez, 2008). Quindi, quando il lanciatore ha co-

struito una tecnica che ottimizza l'altezza di rilascio e l'angolo di rilascio, l'unica variabile su cui può agire per incrementare la lunghezza del lancio è la velocità di rilascio (Bondarchuk, 1987; Morris, 1991).

Sono stati fatti diversi studi sull'incidenza dei fattori aerodinamici e balistici nel lancio del martello. Essi hanno rilevato che per lanci attorno ai 75 m la presenza dell'aria diminuisce la gittata del 3% circa, mentre ogni 2 m/s di vento a favore l'incremento della lunghezza del lancio è di circa 60 cm. È stata calcolata anche l'incidenza, diretta o indiretta, della forza di gravità, della forza centrifuga e delle forze di Coriolis nei diversi punti della Terra (Janosi, 2002). L'altitudine incide di circa 55 cm ogni 1000 m di dislivello e la latitudine di circa 45 cm tra polo ed equatore (34 cm tra latitudini di 67,5° e 17,5°, che rappresentano gli estremi del pianeta entro cui solitamente si svolgono competizioni). Con riferimento alla pressione dell'aria, il lancio varia di circa  $\pm 8$  cm ogni  $\pm 2$  kPa ( $P_0 = 101325$  kPa) e le forze di Coriolis lanciando da est a ovest rispetto a un lancio in verso opposto (180°) restituiscono una differenza di 3,4 cm, a cui si aggiungono 1,5 cm a seconda che si lanci su un bordo o l'altro del settore lanci (40°). Variazioni di temperatura di  $\pm 10^\circ$  determinano variazioni della lunghezza di lancio di  $\pm 17$  cm. Infine, le variazioni dell'inclinazione del settore di lancio (che il regolamento tollera nella misura di  $\pm 0,001\%$ ) possono determinare variazioni fino a  $\pm 8$  cm per lanci di 80 m (Mizera, 2002; Hunter, 2005).

Jermy et al. (2014) hanno studiato nella galleria del vento anche le variazioni della resistenza aerodinamica



dovuta alle differenti posizioni che il filo e la maniglia del martello possono assumere in aria dopo che il martello è stato lanciato. Hanno osservato, in particolare, che mentre per lanci relativamente modesti la resistenza dell'aria è dovuta prevalentemente al moto della testa del martello, per lanci più lunghi anche il filo e la maniglia influenzano la lunghezza del lancio. La lunghezza è influenzata anche dalle variazioni del diametro della testa del martello: Dapena (1982) ha calcolato una differenza di circa 30 cm su un lancio di 80 m effettuato con martello di diametro 120 cm rispetto allo stesso lancio effettuato con un martello di diametro di 110 cm, il minimo consentito dal regolamento.

Gli studi scientifici sugli aspetti balistici e aerodinamici del lancio del martello ci forniscono un quadro abbastanza completo della loro influenza sulla lunghezza del lancio. Esistono tuttavia dei limiti di questi studi. Innanzitutto, spesso si confrontano i risultati delle elaborazioni dei dati a partire dalle misurazioni ufficiali dei giudici di gara, le quali considerano la distanza dal punto di atterraggio dell'attrezzo ad un punto di misurazione che è diverso dal punto di rilascio dell'attrezzo. In secondo luogo, nel calcolare le variabili del lancio si fa solitamente riferimento ad una prospettiva bidimensionale sul piano sagittale, e non si fa riferimento anche ad una prospettiva sul piano orizzontale: per quanto riguarda ad esempio l'istante di rilascio, si considera l'altezza di uscita (quindi la posizione sull'asse Z), ma in una visione dall'alto si coglierebbero anche le posizioni sull'asse X e sull'asse Y, che influenzano anch'esse sulla lunghezza del lancio. Infine, con riferimento agli aspetti aerodinamici, non risultano studi che approfondiscano l'influenza della resistenza dell'aria durante la fase di accelerazione del martello da parte del lanciatore (Dapena, 1982; Goff, 2013).

### CINEMATICA DEI CENTRI DI MASSA

I centri di massa che dobbiamo considerare sono tre: il centro di massa del lanciatore, il centro di massa del martello e il centro di massa del sistema lanciatore-martello (Dapena, 1986; Karalis, 1991). Di ogni centro di massa dobbiamo considerare la posizione e il movimento. Dapena (1986), inoltre, suggerisce che sia più semplice ed opportuno affrontare questa prospettiva del lancio analizzando separatamente le componenti orizzontali e quelle verticali.

La posizione del centro di massa dell'attrezzo è costante durante il lancio e si trova vicino al centro della testa del martello per l'attrezzo maschile, che pesa 7,26 kg, e vicino al perno per l'attrezzo femminile, che pesa solo 4 kg (Dapena 1982). Con riguardo a quella del centro di massa del lanciatore e del sistema lanciatore-martello, non esistono studi specifici. Istante per istante la posizione del centro di massa del lanciatore dipende dalle masse dei segmenti corporei del lanciatore e dalla loro posizione, e la stessa cosa è conseguentemente valida per la posizione del centro

di massa del sistema martello-lanciatore (Virmavirta, 2014).

In ciascuna delle fasi del lancio i centri di massa compiono movimenti diversi. Non ci risultano studi scientifici sui movimenti dei centri di massa durante le rotazioni preliminari e durante il rilascio, mentre nella letteratura scientifica sono presenti alcune pubblicazioni su questo argomento durante i giri del lanciatore (Dapena, 1986; Murofushi, 2007).

Durante i giri, il movimento dei suddetti centri di massa può essere scomposto nelle sue componenti verticale e orizzontale. Secondo Murofushi (2007) e Otha (2010), la componente orizzontale ha un'influenza sulla lunghezza del lancio minore di quella verticale. La componente verticale presenta un'oscillazione ciclica ad ogni giro per tutti e tre i centri di massa (Dapena, 1984). Tuttavia la loro altezza non varia simultaneamente: c'è una asincronia tra il punto più alto del centro di massa del martello rispetto a quello del lanciatore. Il centro di massa del sistema si trova in un punto intermedio tra i due, che hanno un ritardo di fase tra loro di circa 115°, ma più vicino al secondo. Il punto basso del centro di massa del sistema, inoltre, si trova circa a metà della fase di doppio appoggio, e il punto alto a circa la metà della fase di singolo appoggio (Dapena, 1986; Dapena, 1984).

Murofushi (2007) ha osservato che per il primatista asiatico del lancio del martello il punto più basso del centro di massa dell'attrezzo è situato dopo l'inizio della fase di doppio appoggio e coincide con l'istante del punto più alto del martello, mentre negli atleti di minore qualificazione i due centri di massa si muovono molto più in sincrono. Anche Yuri Sedykh, nel lancio in cui ottenne l'attuale primato del mondo, raggiunse nei vari giri il punto basso del suo centro di massa subito dopo l'inizio della fase di doppio appoggio (Otto, 1990). Pure in questo studio era stato rilevato che lanciatori di minor qualificazione avevano un innalzamento delle anche abbastanza sincrono con quello del martello durante la fase di singolo appoggio, a differenza di Sedykh, che aveva un ritardo di fase di quasi mezzo giro.

Nell'analizzare la componente orizzontale dei centri di massa dobbiamo considerare che il lancio consiste in un movimento composto da una traslazione e una rotazione; infatti, il lanciatore, mentre gira su se stesso, si sposta gradualmente dal bordo posteriore della pedana a quello anteriore nella direzione di lancio. Definendo  $V_t^h$  la velocità di traslazione e  $V_r^h$  la velocità di rotazione, si è visto (Dapena, 1986) che siccome per il centro di massa del martello  $V_t^h$  è maggiore di  $V_r^h$ , la sua traiettoria ha una forma trocoide. Invece, il centro di massa del lanciatore, per il quale  $V_t^h$  è circa uguale a  $V_r^h$ , ha una traiettoria cicloide, e quello del sistema, in cui  $V_r^h$  è minore di  $V_t^h$ , ha una forma più o meno ondulata, anche se con delle differenze tra lanciatore e lanciatore (Fig. 3). Infatti, se per il centro di massa

del lanciatore e quello del martello le traiettorie sono sempre rispettivamente cicloidi e trocoidi, da analisi di lanci (Dapena 1984) è emerso che esistono due tipi di traiettorie percorse dal centro di massa del sistema martello-lanciatore: una denominata "loop pattern", in cui si è in presenza di un trocoide/cicloide, anche se meno accentuato di quello descritto dal centro di massa del martello; e una denominata "fixed point pattern", in cui il centro di massa del sistema ha un movimento orizzontale all'incirca rettilineo (Dapena, 1984).

rilascio, quando il martello interrompe la sua traiettoria orbitale, perché vincolata alle mani del lanciatore, e inizia una traiettoria all'incirca parabolica (con tutte le considerazioni che abbiamo fatto nei paragrafi precedenti sull'influenza dei fattori aerodinamici sul conseguente percorso del martello in aria) (Mizera, 2002).

**Relazione tra velocità tangenziale, velocità angolare e raggio di istantanea rotazione**

Per la comprensione dello sviluppo della velocità della testa del martello durante il lancio dobbiamo

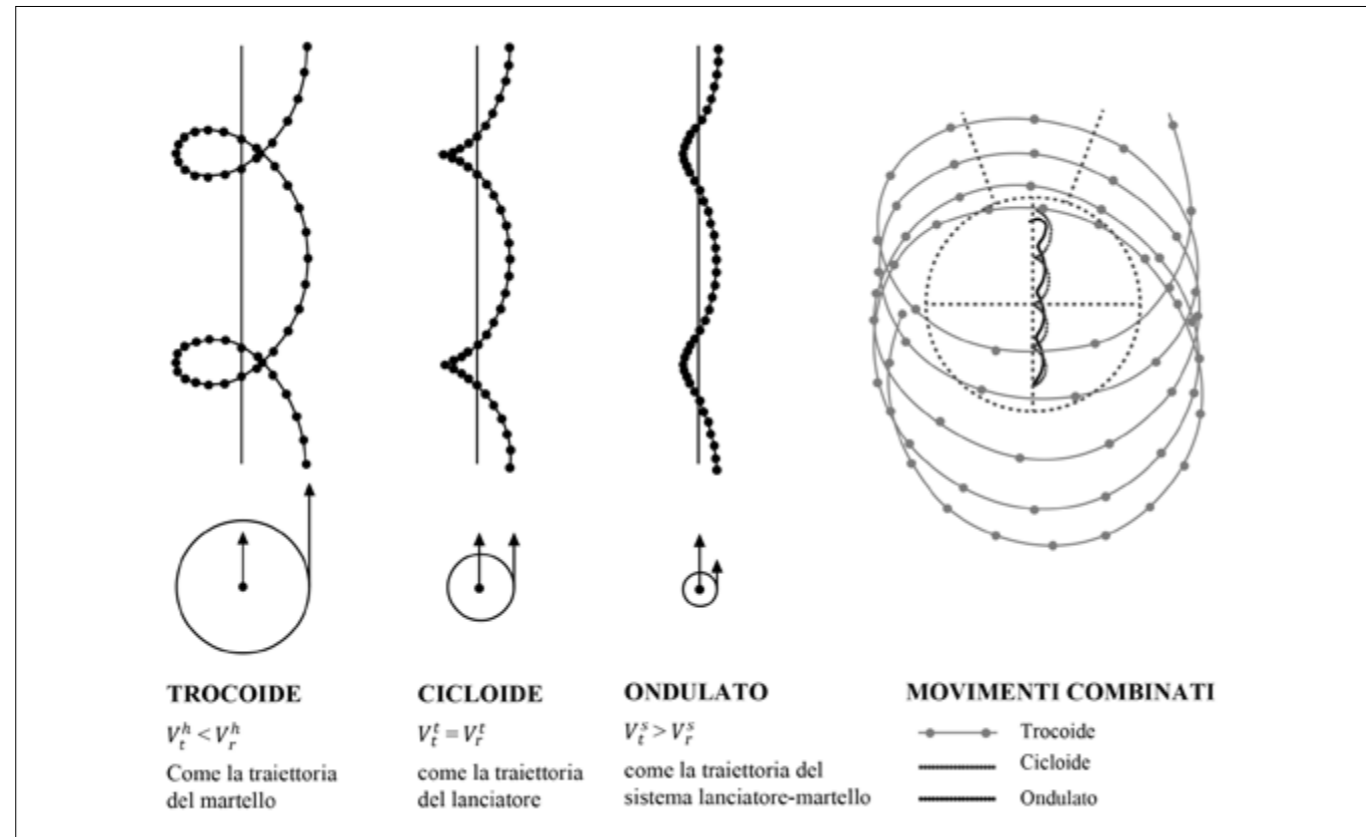


FIGURA 3. Rotazione e traslazione nel lancio del martello. Adattato da Dapena (1986).

**ORBITA DEL MARTELLO**

Quando analizziamo i lanci dell'atletica (lancio del peso, lancio del disco, lancio del giavellotto e lancio del martello) la specialità che stiamo studiando appare diversa dalle altre in modo evidente e immediato, per un motivo: negli altri tre lanci il centro di massa dell'attrezzo che viene lanciato si trova nella mano dell'atleta, invece nel lancio del martello si trova a circa 1,20 m di distanza. Questa considerazione rende molto interessante lo studio dell'orbita del martello per la comprensione della specialità. Abbiamo già evidenziato come, tra i molteplici elementi tecnici a cui il lanciatore deve prestare attenzione, uno dei più importanti, se non il più importante, sia la massimizzazione della velocità di uscita dell'attrezzo (Bartonez, 2008), e quindi la velocità tangenziale al momento del

considerare tre parametri: la velocità tangenziale, la velocità angolare e il raggio di istantanea rotazione. Questi tre parametri sono in relazione tra loro e in un modello semplicistico (Brice, 2014) e planare di un punto materiale in un sistema chiuso privo di attrito possiamo dire che in ogni istante la velocità lineare del centro di massa del martello è uguale a:

$$v = r \cdot \omega \quad (1.2)$$

dove  $r$  è il raggio di rotazione (cioè la distanza del punto dall'asse di rotazione) e  $\omega$  la velocità angolare. Secondo questa relazione, quindi, è possibile incrementare la velocità lineare di un punto rotante sia incrementando la velocità angolare sia incrementando il raggio.

Allora, il lanciatore, per sfruttare al meglio le sue capacità atletiche, in ogni istante del lancio dovrà trovare il compromesso tra  $r$  e  $\omega$  più efficiente possibile (cioè che massimizzi  $v$  nell'istante del rilascio) che riesce ad esprimere in quel dato momento di iner-

zia (Brice, 2014; Bartonez, 2008). Nella Fig. 4 sono illustrati andamenti tipici della velocità tangenziale, della velocità angolare e del raggio di istantanea rotazione durante il lancio.

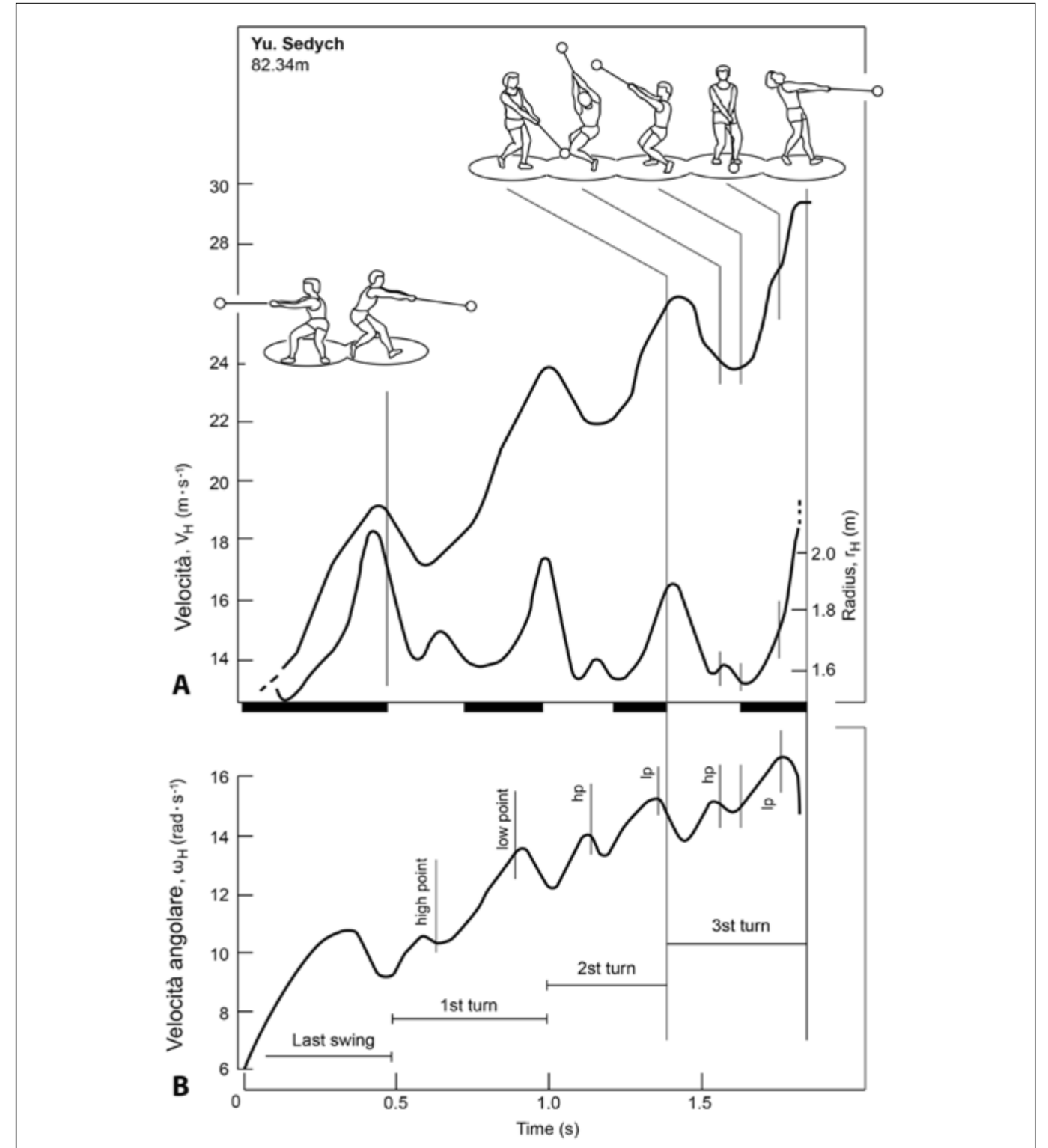


FIGURA 4. Velocità tangenziale  $V_H$ , raggio  $r_H$  (A) e velocità angolare  $\omega_H$  (B). La barra sull'ascisse mostra le fasi di doppio appoggio (nero) e di singolo appoggio (bianco). Adattato da Bartonez (2008).

### La velocità tangenziale

Nel primo dei due grafici della Fig. 4 è rappresentata la curva della velocità tangenziale del martello, dall'ultimo preliminare fino al momento del rilascio. Il grafico mostra che, durante l'ultimo preliminare, il quale ovviamente corrisponde a una fase di doppio appoggio, la velocità lineare del martello aumenta fino al distacco del piede destro. Successivamente, in ogni giro si alternano fasi di singolo appoggio, in cui la velocità tangenziale diminuisce, e fasi di doppio appoggio, in cui aumenta, e questo andamento della velocità è riscontrato in molti altri studi (Rojas-Ruiz, 2009; Lapp, 2014; Dapena, 1984; Susanka, 1986; Murofushi, 2005; Brice, 2008). È stato anche evidenziato (Murofushi, 2005; Murofushi, 2007; Brice, 2008) che gli incrementi di velocità durante le fasi di doppio appoggio e i decrementi di velocità durante le fasi di singolo appoggio, sono maggiori negli atleti di elevata qualificazione. Infine, dopo l'ultima fase di singolo appoggio, il lanciatore rilascia l'attrezzo, e in corrispondenza di questa fase la velocità lineare del martello aumenta repentinamente. I valori massimi che la velocità raggiunge in ogni giro sono sempre maggiori di giro in giro e ancora maggiori al momento del rilascio finale (Dapena, 1984; Murofushi, 2005).

Molti allenatori, e alcuni autori di articoli tecnici (Bartonez, 2008; Otto, 1992; Lapp, 2014), osservando che la velocità lineare del martello aumenta nelle fasi di doppio appoggio e diminuisce nelle fasi di singolo appoggio, hanno ipotizzato che esista una relazione di causa-effetto tra i due fenomeni. Altri autori (Dapena, 1984; Dapena, 1986; Murofushi, 2005; Rojas-Ruiz, 2009), hanno invece messo in discussione questa visione, sottolineando come l'incremento della velocità e le fasi di doppio appoggio siano simultanei, ma non siano necessariamente in relazione tra loro. In particolare la velocità tangenziale del martello sembra incrementare dal punto alto fino al punto basso e decrementare dal punto basso al punto alto (Murofushi, 2005; Murofushi, 2007; Otha, 2010; Brice, 2011; Brice 2015), pertanto le sovrapposizioni delle variazioni di velocità con le fasi di doppio appoggio e di singolo appoggio sarebbero parziali. Dapena (1984) ha anche messo in evidenza l'influenza della gravità sulle oscillazioni della velocità, rilevando che, sottraendo la componente della gravità alla velocità tangenziale si ottiene una curva teorica con delle fluttuazioni minori, in alcuni casi quasi assenti. Inoltre, Rojas-Ruiz (2009) ha evidenziato una diminuzione dello spazio percorso dal martello lungo la sua orbita durante la fase di doppio appoggio negli ultimi due giri (rispetto ai primi due), quando il lanciatore riesce a far raggiungere al martello le maggiori velocità. Se viene messo in discussione il nesso di causa-effetto tra la lunghezza della fase di doppio appoggio e l'aumento della velocità tangenziale del martello, allora viene messa in discussione anche la necessità di ricercare una lunghez-

za della fase di doppio appoggio più lunga possibile (Rojas-Ruiz, 2009; Murofushi, 2005).

Considerando la fase di singolo appoggio, molti autori non la considerano una fase passiva e preparatoria alla successiva fase di doppio appoggio, nella quale la possibilità di accelerare il martello è comunque maggiore. La velocità, per effetto della gravità (Dapena, 1984) e dell'attrito della pedana con il piede sinistro, diminuisce, ma il sistema può comunque beneficiare di un momento torcente che accelera il martello, in quanto la forza verticale di reazione al suolo del piede sinistro non passa dal centro di massa del lanciatore (Pozzo, 1992; Bartonez, 2008).

### Il raggio di istantanea rotazione e la velocità angolare

La Fig. 4 descrive un lancio di 82,34 m di Yuri Sedykh, e mostra nel grafico in alto l'andamento del raggio e nel grafico in basso quello della velocità angolare. Sappiamo che il prodotto delle due grandezze ci restituisce la velocità lineare, anch'essa evidenziata nella Fig. 4, per ogni istante di lancio (Bartonez, 2008). Nei due grafici si può notare che circa in corrispondenza delle fasi in cui il raggio di istantanea rotazione, cioè la distanza del centro di massa del martello dall'asse del momento angolare del sistema lanciatore-martello, aumenta, la velocità angolare diminuisce, e viceversa. Dapena (2003) rileva che la lunghezza del raggio dipende anche dalla posizione del centro di massa del martello, che nell'attrezzo maschile è vicino a quello della testa del martello e nell'attrezzo femminile è vicino al perno. Dyson (1973), inoltre, rileva che il raggio dipende anche dalla massa del lanciatore. Dapena (1986), infine, afferma che il fattore che incide maggiormente nel determinare il raggio di istantanea rotazione è la postura del lanciatore.

Mentre per la velocità lineare la letteratura ha identificato in maniera unanime quali sono le fasi di lancio in cui essa aumenta o diminuisce, con riferimento al raggio di istantanea rotazione le visioni degli autori sono più controverse. In particolare, gli studi di Bartonez (2008) e Lee (2016), identificano nella fase di doppio appoggio gli istanti in cui il raggio di istantanea rotazione aumenta, anche se individuano il picco di massimo raggio in istanti diversi: Lee (2016) sul punto basso, Bartonez (2008) al termine della fase di doppio appoggio. Altri autori, viceversa, affermano che il raggio aumenta durante la fase di singolo appoggio (Dapena, 1989; Maronski, 1991; Murofushi, 2005; Otha, 2010). Infine, Fujii (2007), nel suo studio, identifica la fase di singolo appoggio come quella in cui principalmente il raggio diminuisce, ma al contempo rileva un certo incremento subito dopo che il martello ha raggiunto il punto basso nella fase di doppio appoggio (Bartonez, 2008; Lee, 2016).

Nel corso del lancio (e tenendo conto delle fluttuazioni nelle varie fasi) la velocità angolare tende ad au-



mentare, insieme alla velocità lineare, mentre il raggio diminuisce leggermente. Tuttavia, pur considerando questa tendenza, Dapena (1989) e Maronski (1991) rilevano che i lanciatori, dopo aver cercato nel corso dei giri il miglior compromesso tra velocità angolare e raggio di istantanea rotazione, ricercano un rapido accorciamento al momento del rilascio finale (Dapena, 1989; Bartonez, 2008; Maronski, 1991).

Con riguardo alle strategie del lanciatore per massimizzare la prestazione, Maronski (1991) afferma l'utilità di ricercare un raggio di lunghezza più costante possibile durante le rotazioni, con esclusione della fase del rilascio. Invece, Dapena (1989), descrive la postura del lanciatore, identificando due varianti tecniche differenti, quella a "spalle contrapposte" e quella ad "anche contrapposte". La prima, consiste nel ricercare una posizione e una postura stabile di contrapposizione al martello nell'arco dei giri. La seconda, invece, consiste nell'arretrare le anche e portare in avanti le spalle per cercare un'orbita del martello più lunga possibile. Questo tipo di tecnica permette, per una data velocità tangenziale del martello, di avere un raggio di rotazione maggiore e una velocità angolare minore. Poiché la velocità di rotazione su sé stesso del lanciatore è minore, la tecnica ad anche contrapposte consente una maggiore efficacia nell'espressione della forza e quindi la possibilità di esprimerne di più, poiché i muscoli coinvolti nel movimento hanno più tempo a disposizione per contrarsi (Dapena, 1989; Hill,

1922). Pertanto, questo accorgimento porterà ad una maggior quantità di moto angolare. Per la tecnica a spalle contrapposte la tendenza è di mantenere quella posizione per l'intero lancio, mentre per la tecnica ad anche contrapposte la tendenza è di arretrare le spalle e portare avanti le anche nel corso del lancio, dopo i primi due giri, per atleti che usano una tecnica a quattro giri. Questo fa sì che gradualmente diminuisca il raggio e aumenti la velocità angolare del lanciatore. Dapena (1989), ha ipotizzato che i fattori che impediscono il mantenimento di questo vantaggio meccanico negli ultimi giri del lancio, cioè la massimizzazione del raggio data dalla contrapposizione delle anche, siano un eccessivo carico sulla colonna vertebrale e un'insufficiente forza nella muscolatura delle spalle.

### Traslazione, inclinazione e torsione dell'orbita

Per traslazione dell'orbita (Fig. 5) si intende lo spostamento lungo la pedana dell'asse di istantanea rotazione dell'orbita durante il lancio. Essa avviene prevalentemente nella direzione di lancio, cioè dalla parte posteriore della pedana a quella anteriore. Infatti, come già detto, il movimento del sistema lanciatore-martello è la risultante di una rotazione e di una traslazione. In particolare, il movimento che determina lo spostamento è il passaggio del contatto del piede con la pedana dal tallone alla pianta nella parte della rotazione che si trova circa dai 90° ai 180° azimutali,

ovvero nella prima metà della fase di singolo appoggio di ogni giro (Pozzo, 1992). È importante notare che questa traslazione influenza la velocità tangenziale del martello, perché aggiunge alla velocità tangenziale dovuta alla rotazione una velocità lineare dovuta allo spostamento del sistema lanciatore-martello e del suo centro di massa lungo la pedana. Di conseguenza, la variazione della velocità dovuta alla traslazione non è uniforme, poiché il passaggio tacco-punta del piede sinistro che fa avanzare il lanciatore in pedana avviene in una porzione limitata del giro (Bondarchuk, 1987; Bartoniez, 2008).

Per inclinazione dell'orbita (Fig. 5) si intende l'angolo, in una visione laterale della pedana, tra l'orizzontale e la retta che passa dai punti più alti e i punti più bassi che il martello raggiunge in ogni giro. L'inclinazione è generalmente crescente nel corso dei giri, ma la dinamica del suo aumento è soggettiva per i diversi lanciatori. Al variare dell'inclinazione variano diverse caratteristiche cinematiche (la distanza del martello dall'asse di rotazione sul piano orizzontale), dinamiche (l'influenza della gravità) e tecniche (la postura del lanciatore in varie fasi del giro) (Bondarchuk, 1987; Pozzo, 1992; Bartoniez, 2008).

Per torsione dell'orbita (Fig. 5) si intende lo spostamento, in una visione dall'alto della pedana, di giro in giro lungo l'orbita stessa dei punti più bassi e dei punti più alti che il martello raggiunge rispetto al giro

precedente. Nella tecnica moderna i lanciatori hanno la tendenza a tenere il punto basso davanti alle loro spalle durante i giri, quando si trovano nella parte centrale della fase di doppio appoggio. In passato l'orbita del martello raggiungeva il punto più basso all'incirca di fronte al piede destro (Bondarchuk, 1987). Inoltre, di solito in molti lanciatori si osserva un graduale e leggero spostamento del punto basso e del punto alto verso sinistra nel corso dei giri. Al variare del posizionamento dei punti bassi e dei punti alti cambiano anche alcune posture del lanciatore in varie fasi del lancio e le tensioni sul filo dell'attrezzo. Inoltre, variano le condizioni balistiche al momento del rilascio dell'attrezzo, soprattutto l'altezza di rilascio (Bartoniez, 2008) e la direzione di lancio. Nella letteratura scientifica non esistono studi che affrontino il tema della torsione dell'orbita e in generale sul posizionamento dei punti bassi e dei punti alti sul piano frontale.

#### L'orbita del martello nei preliminari

Con riferimento alle rotazioni preliminari, Dapena (1989) rileva che l'inclinazione della loro orbita aumenta nel corso dei giri, in quanto il punto basso raggiunge ad ogni rotazione preliminare una quota più bassa, e il punto alto quote più alte. Questa affermazione è confermata da Rozhkov (2020), che ha condotto un'analisi su tutti i principali parametri cinematici delle rotazioni preliminari dei finalisti dei Campionati mon-

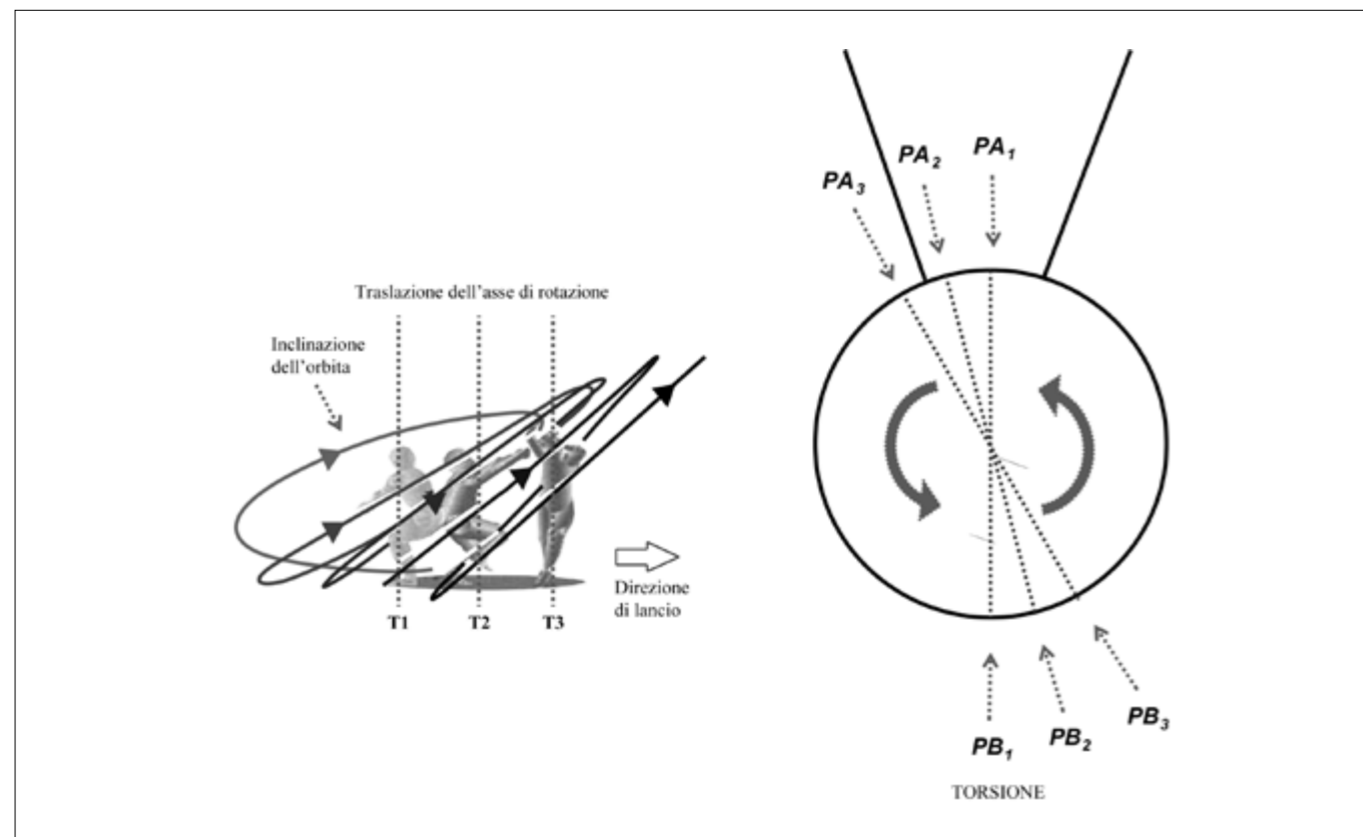


FIGURA 5. Inclinazione, traslazione e torsione dell'orbita del martello.

diali di Londra nel 2017. Alla fine dei preliminari si stabilizza un ritardo di fase tra il lanciatore e il martello di circa 180° che rimane abbastanza costante durante i giri (Rozhkov, 2020). Comunque, nel complesso la letteratura scientifica che studia i movimenti e le velocità orbitali dei preliminari è scarsa e per questa fase del lancio sono necessari ulteriori approfondimenti. Invece, gli articoli tecnici hanno dedicato una maggiore attenzione all'argomento, sottolineando come un'esecuzione dei preliminari efficace sia cruciale per una buona riuscita del lancio (Dapena 1989; Bondarchuk, 1987; Pozzo, 1992; Bartoniez, 2008).

#### ANGOLO DI SEPARAZIONE TRA BACINO E TORACE

Uno degli elementi più importanti della tecnica del lancio del martello è l'angolo di separazione tra l'asse delle anche e l'asse del torace (vedi Fig. 6). Nonostante l'importanza di questo elemento della tecnica di lancio sia riconosciuta in maniera molto diffusa nella letteratura tecnica, esistono pochissime pubblicazioni scientifiche sull'argomento. L'angolo di separazione tra l'asse delle anche e l'asse delle spalle  $\theta$  viene definito positivo quando in una rotazione antioraria (quella di un atleta destrimano) l'asse delle anche ha un valore in angoli azimutali maggiore di quello del torace, quindi quando è il bacino che guida e che anticipa il torace. Viceversa,  $\theta$  è negativo quando è l'asse

del torace ad avere un valore maggiore di quello delle anche. In questo caso è il torace che guida e che anticipa il bacino. Nel corso dei giri i lanciatori solitamente hanno un angolo di separazione positivo. Inoltre, la tendenza dei lanciatori, tra cui anche quella del primatista del mondo Yuri Sedykh, è diminuire l'angolo di separazione nella fase di doppio appoggio durante i giri e aumentarla durante la fase di singolo appoggio, e questa variazione di valori è anche voluta e ricercata (Sedykh, 2018; Brice, 2018; Bartoniez 2008).

Bartoniez (2008), infatti, ha evidenziato che la ricerca di un aumento di  $\theta$  nella fase di singolo appoggio ha un'incidenza positiva sul lancio soltanto se nella fase di doppio appoggio l'anticipo del bacino sul torace si riduce. Infatti il mantenimento di un valore di  $\theta$  elevato durante entrambe le fasi dei giri provoca una diminuzione del raggio di rotazione del sistema. Brice (2018), ha evidenziato che esiste una correlazione positiva estremamente alta tra la lunghezza del lancio e la diminuzione di  $\theta$  nella fase di doppio appoggio nei primi due giri, quando la velocità di rotazione è ancora bassa e il lanciatore può essere più efficace nell'ottenimento di questo particolare tecnico.

Nonostante un aumento dell'angolo di separazione nella fase di singolo appoggio e una diminuzione nella fase di doppio appoggio sia un elemento che contribuisce all'aumento della velocità tangenziale del mar-

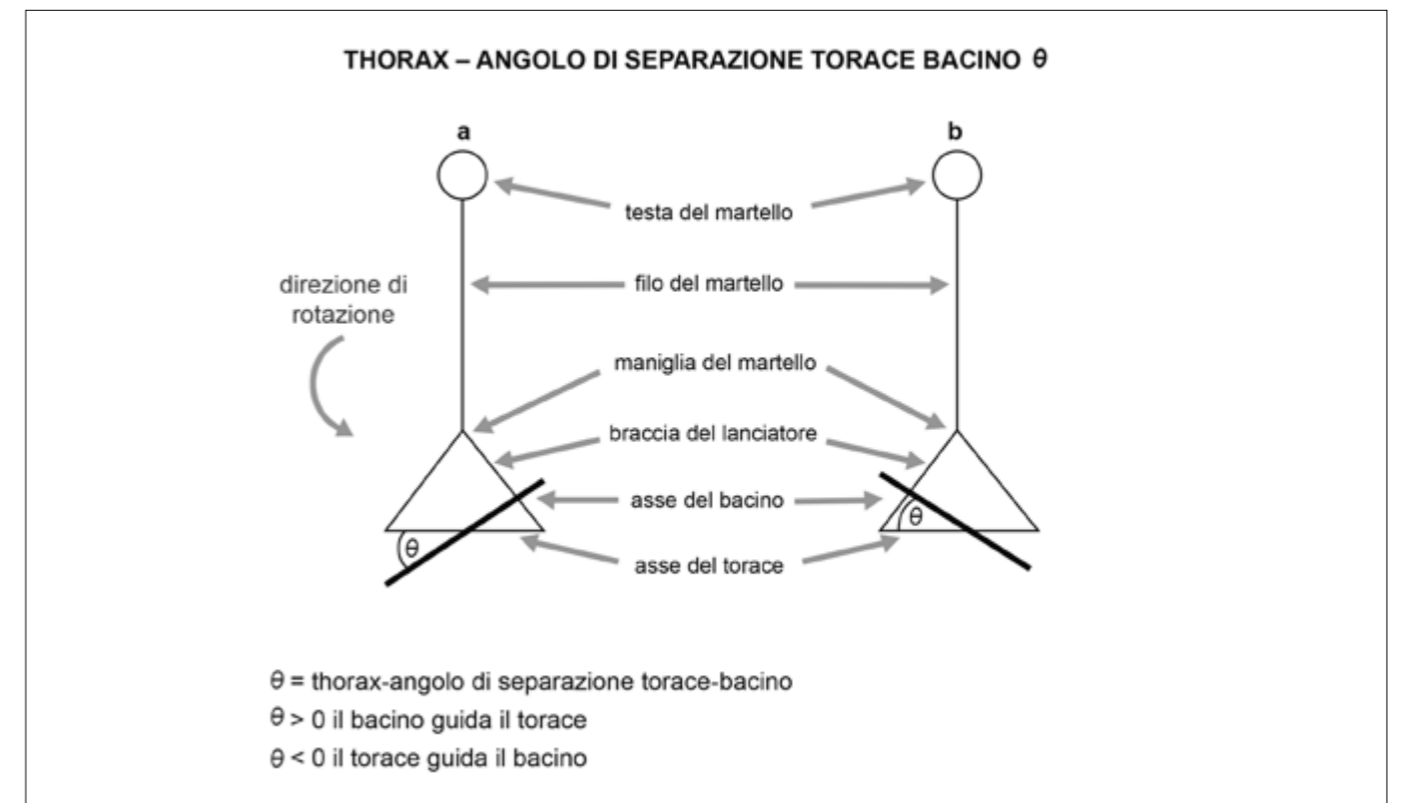


FIGURA 6. (A) Angolo di separazione positivo (il bacino guida il torace) e (B) angolo di separazione negativo (il torace guida il bacino). Adattato da Brice (2018).

tello nel corso dei giri, la ricerca di questo elemento tecnico non deve portare ad un valore eccessivo di  $\theta$  nella fase di singolo appoggio (Brice, 2008; Bartoniez, 2009; Bondarchuk, 1987). Infatti, se questo accade, si possono verificare due fenomeni. Il primo, che si determinano un'eccessiva diminuzione del raggio e quindi una diminuzione della velocità tangenziale del martello eccessiva. Il secondo, è che il lanciatore si trovi in una posizione di equilibrio precario, dato che nella fase di singolo appoggio di ogni giro è in contatto con la pedana con un solo piede. Questo equilibrio precario non permetterebbe di accelerare il martello nel migliore dei modi e di diminuire il valore dell'angolo di separazione  $\theta$ , che come abbiamo visto è condizione fondamentale per una buona esecuzione del lancio. Bartoniez (2008) ha evidenziato che durante l'esecuzione dei giri, l'istante in cui si raggiungono i valori maggiori dell'angolo di separazione  $\theta$  è nella seconda parte delle fasi di singolo appoggio di ogni giro e che i valori ottimali che il lanciatore dovrebbe raggiungere in quel momento oscillano tra i 20° e i 40°.

Dall'insieme degli studi scientifici si evince quindi che la strategia dei lanciatori per aumentare la velocità periferica del martello è quella di aumentare l'angolo di separazione tra bacino e torace nella fase di singolo appoggio (ma non eccessivamente, per non compromettere la velocità tangenziale del martello e l'equilibrio dinamico del movimento), e diminuire l'angolo di separazione nella fase di doppio appoggio, soprattutto nei primi due giri, per aumentare la velocità tangenziale del martello (Murofushi, 2007; Bartoniez, 2008; Brice, 2008).

Dopo aver visto l'angolo di separazione durante i giri, aggiungiamo alcune considerazioni su questo aspetto tecnico nelle rotazioni preliminari e nel rilascio finale. Vista la necessità di creare fin dall'inizio dei giri un angolo di separazione  $\theta$  positivo, la letteratura tecnica ha sempre ritenuto che la creazione di questo anticipo prima del passaggio dai preliminari ai giri fosse uno degli obiettivi principali delle rotazioni preliminari. L'angolo di separazione  $\theta$ , dato che il martello ruota attorno al lanciatore piazzato in pedana, assume in ogni giro un'alternanza di valori positivi e di valori negativi. Alla fine dei preliminari,  $\theta$  deve essere comunque positivo, e tra l'altro la realizzazione dell'angolo di separazione ottimale non è un compito semplice perché, durante le rotazioni preliminari del martello, il lanciatore è fermo con i piedi, mentre durante i giri il lanciatore ruota con i piedi insieme al martello. Pertanto il passaggio dalle rotazioni preliminari ai giri, che nella letteratura tecnica è chiamata "entrata al primo giro", è considerato una fase molto delicata e cruciale per la buona riuscita del lancio (Bondarchuk, 1987; Pozzo, 1992; Bartoniez, 2008).

Nella fase del rilascio finale, dopo che  $\theta$  è rimasto costantemente positivo (con eccezioni in pochi atleti e solo in alcune fasi dei giri, tipicamente alla fine della

fase di doppio appoggio), diventa negativo, dato che i piedi si piazzano in pedana e il tronco continua la sua rotazione per accelerare il martello il più possibile fino all'istante del rilascio finale, a circa 90° azimutali (Susanka, 1986; Murofushi, 2007; Brice, 2008).

### FORZE COINVOLTE

Per descrivere le forze coinvolte nel movimento del lancio del martello, consideriamo separatamente quelle che agiscono sul martello, sul lanciatore e sull'intero sistema lanciatore-martello (Brice, 2014).

#### Forze che agiscono sul martello

Le forze che agiscono sul martello sono le forze di natura aerodinamica, la gravità e le forze applicate dal lanciatore tramite il filo del martello. Le forze aerodinamiche che agiscono sul martello possono essere analizzate prima che il martello venga rilasciato dal lanciatore e dopo. Le seconde sono state già discusse analizzando gli aspetti balistici del lancio, mentre non ci risultano studi scientifici riguardo le prime (Dapena, 1984).

Consideriamo allora le altre due forze: la gravità e la forza applicata dalle mani del lanciatore tramite il filo del martello. Queste ultime possono essere scomposte, istante per istante, usando una terna di riferimento avente per origine il centro di massa del martello nella direzione tangenziale, radiale e normale al piano della traiettoria. Le componenti normali delle forze considerate sono trascurabili per quel che riguarda l'effetto sulla velocità tangenziale del martello, invece la loro risultante lungo la direzione radiale influisce sul raggio di curvatura dell'attrezzo durante i giri. Le uniche componenti delle forze che agiscono sul martello che determinano la variazione della velocità sono quelle tangenziali (Dapena, 1984; Pozzo, 1992; Brice, 2014).

La legge oraria della risultante delle forze applicate al martello rispetto al tempo ha uno sviluppo simile a quello dello sviluppo della velocità tangenziale: il periodo delle fluttuazioni è di un giro, le fasi di incremento dell'applicazione della forza e quelle della velocità tangenziale si trovano in ogni fase di doppio appoggio (mentre si osservano decrementi nelle fasi di singolo appoggio) e i picchi di massima tensione applicata al filo e di accelerazione del martello si trovano in prossimità del punto basso dell'orbita del martello (vedi Fig. 7). Lo sviluppo della curva della forza suggerisce quindi che i lanciatori applichino la forza dal punto alto al punto basso delle rotazioni, sfruttando anche la gravità, ma gli studi scientifici non evidenziano un nesso di causalità certa tra le forze applicate dal lanciatore e gli incrementi di velocità. Dapena (1989), ha scorporato l'effetto delle accelerazioni determinate dalla gravità e dalla traslazione attraverso la pedana da parte del lanciatore dagli effetti determinati dalla rotazione, avendo notato in studi precedenti (1984, 1985) che questi ultimi in alcuni lanciatori erano quasi

assenti e in altri lanciatori, invece, ancora presenti. In particolare ha rilevato che la componente orizzontale della variazione di velocità tangenziale del martello dovuta esclusivamente all'applicazione della forza da parte del lanciatore è positiva se la forza è esercitata davanti all'asse di istantanea rotazione ( $\beta < 90^\circ$  nella fig. 8a), ed è negativa se applicata dietro ( $\beta > 90^\circ$  nel-

la Fig. 8b). In entrambi i casi la componente normale della forza applicata dal lanciatore tramite il filo del martello agisce perpendicolarmente al piano di rotazione ed è rivolta verso l'alto, mentre la componente normale della forza di gravità è rivolta verso il basso (Murofushi, 2005; Murofushi 2007; Gesser, 2017; Brice, 2008).

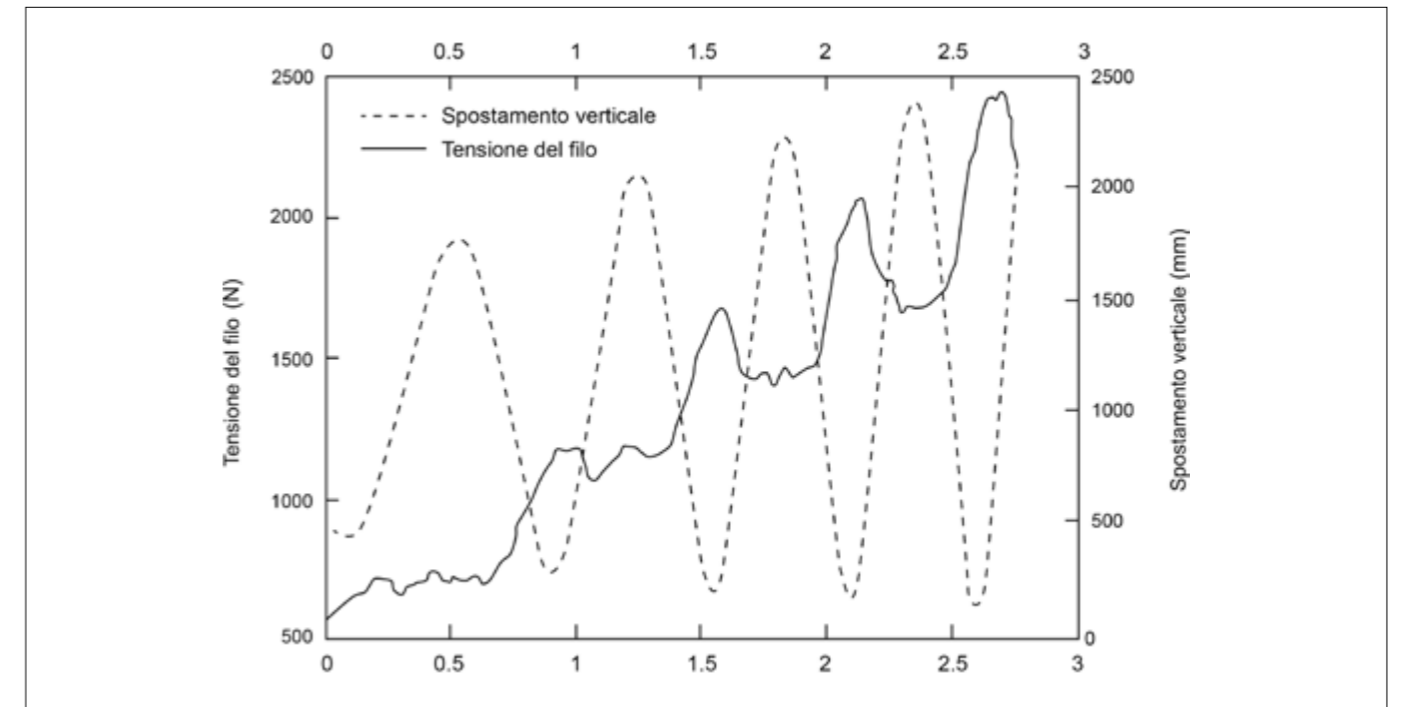


FIGURA 7. Sviluppo della tensione del filo durante il lancio del martello. Adattato da Brice (2008).

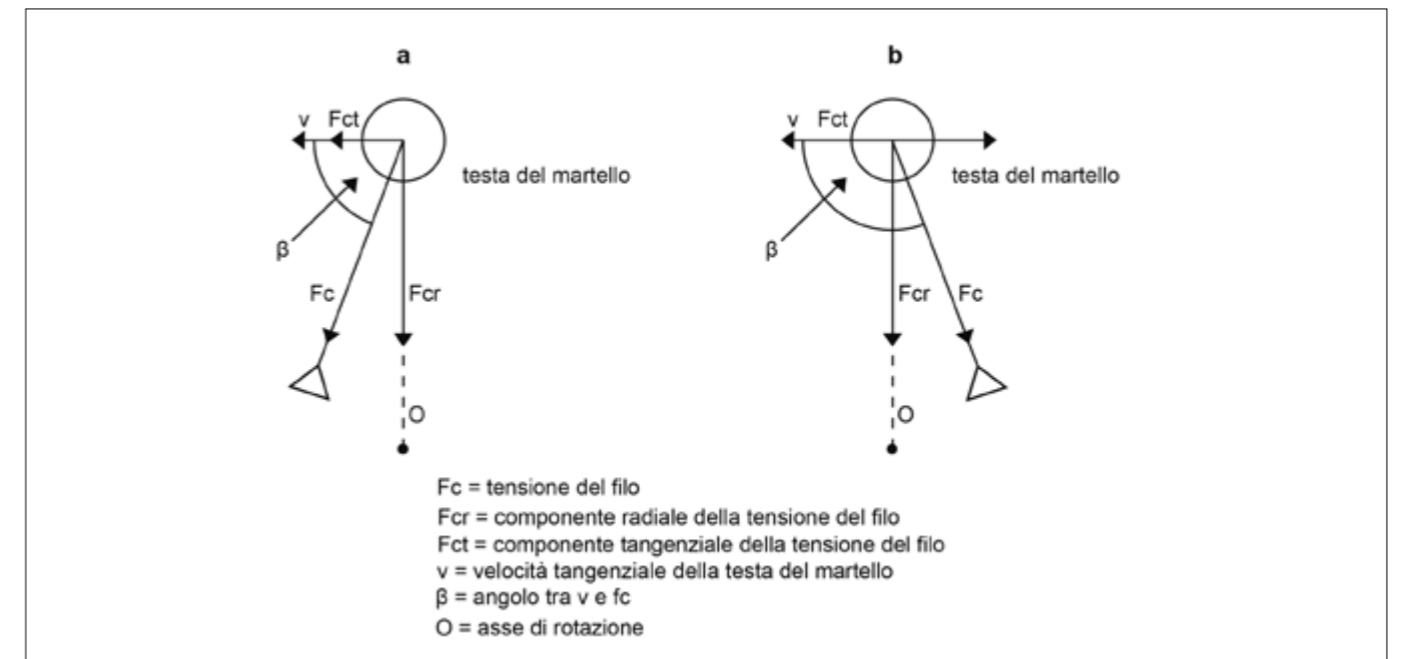


FIGURA 8. Componenti della tensione del filo quando il vettore della tensione del filo si trova davanti (A) o dietro (B) l'asse di rotazione. Adattato da Brice (2011).

I principali fattori che agiscono sull'ampiezza della forza sono, oltre al sesso, l'abilità tecnica del lanciatore e la sua capacità di esprimere forza. In particolare, Dapena (1989) rileva come il primo fattore sia il presupposto per esprimere efficacemente il secondo e Bartoniez (2008) osserva come il ruolo dei muscoli delle gambe sia diverso da quello dei muscoli del tronco e delle braccia: infatti, la muscolatura delle gambe è più importante per generare forza e quella del tronco e delle braccia per trasferirla al martello. Con riferimento alla forza del lanciatore, la letteratura scientifica specifica per le specialità dei lanci è scarsa. In questi studi i fattori individuati che agiscono sulla quantità di forza espressa sono due: la massa del lanciatore e la capacità contrattile dei muscoli. La massa incide sulla quantità di forza, perché i lanciatori che hanno una massa maggiore di solito hanno anche un maggior volume di muscoli, e ciò permette loro di generare una maggior forza meccanica lungo il filo del martello (Billeter, 2003; Singh, 2011). Inoltre, maggiore è la massa del lanciatore, maggiore è il raggio di istantanea rotazione del martello (Dyson, 1973). Quest'ultimo, infatti, passa dal centro di istantanea rotazione del sistema martello-lanciatore, la cui posizione dipende dalla massa e dalla disposizione nello spazio dei corpi coinvolti, il martello e il lanciatore (Dapena, 1989). Per quanto riguarda la capacità contrattile dei muscoli, gli studi scientifici riportano la tendenza dei lanciatori ad avere un volume di fibre muscolari a contrazione veloce percentualmente maggiore rispetto alla popolazione sedentaria o che non svolge attività sportiva a livello agonistico (Billeter, 2003; Terzis, 2009; Terzis, 2010). Si osserva, inoltre, come sia la percentuale di fibre a contrazione veloce sia il loro volume, entrambi grandemente influenzati da fattori genetici, con l'allenamento specifico per gli sport di potenza possano negli anni aumentare. Si rileva anche come questo fenomeno sia reversibile quando si interrompe l'attività agonistica (Billeter, 2003).

#### **Forze che agiscono sul lanciatore**

Ci sono tre tipi di forza che agiscono sul lanciatore: la forza di gravità, la forza di reazione esercitata dalla pedana e la forza di reazione alla tensione da parte del filo del martello, che è uguale ed opposta. In particolare la gravità ha solo una componente verticale, mentre gli altri due tipi di forza hanno sia una componente verticale sia una componente orizzontale (Dapena, 1986; Dapena, 1989). Esistono diversi studi scientifici che indagano con misurazioni dirette come la forza di reazione alla tensione del filo del martello agisca sul lanciatore (Wang, 2014; Wang, 2016; Wang, 2018; Wan, 2020), ma molto pochi che si occupano delle forze di reazione al suolo, probabilmente anche per la difficoltà di effettuare delle rilevazioni (Murofushi, 2005; Murofushi, 2007). È stato misurato che nel corso del lancio la forza di reazione alla tensione del filo aumenta di giro in giro,

mentre la forza di reazione al suolo aumenta molto di meno, con eccezione della fase del rilascio finale, dove anche quest'ultimo tipo di forza aumenta considerevolmente (Murofushi, 2005; Brice, 2008; Brice, 2014). Murofushi (2007) ha rilevato che negli atleti di elevata qualificazione c'è comunque un maggior incremento della forza di reazione alla tensione del filo rispetto agli atleti di minor qualificazione. Analizzando le componenti verticali delle forze che agiscono sul lanciatore si nota un'accelerazione positiva dal punto basso al punto alto del suo centro di massa, che nell'arco dei giri è situato prevalentemente nelle fasi di doppio appoggio, quando l'equilibrio del lanciatore è più stabile e le possibilità di esercitare forza sono maggiori, in quanto il lanciatore ha entrambi i piedi a contatto con la pedana (Murofushi, 2007). L'accelerazione positiva è dovuta al fatto che la somma delle componenti verticali della forza di reazione è maggiore del peso del lanciatore. L'opposto si osserva quando la somma dei due tipi di forza è inferiore alla forza di gravità, cioè prevalentemente nelle fasi di singolo appoggio (Dapena, 1986). Analizziamo ora le componenti orizzontali delle forze che agiscono sul lanciatore. La componente orizzontale della forza di reazione alla tensione del filo ha una grandezza molto maggiore della componente orizzontale della forza di reazione al suolo, mentre quella della gravità è nulla. Pertanto c'è una forza risultante orizzontale che agisce sul lanciatore in direzione della forza di reazione alla tensione del filo del martello. Questa forza fornisce un'accelerazione centripeta che permette al lanciatore di ruotare attorno al centro di massa del sistema martello-lanciatore (Dapena, 1986).

#### **Forze che agiscono sul sistema martello-lanciatore**

Se si analizza il sistema lanciatore-martello, ovviamente non si tiene conto delle forze scambiate tra il lanciatore e il martello, e sono la forza di gravità e la forza di reazione al suolo a influenzare il movimento del centro di massa del sistema (Dapena, 1986). Come abbiamo visto per le componenti verticali delle forze che accelerano il centro di massa del lanciatore, anche con riferimento al centro di massa del sistema viene trasmessa un'accelerazione positiva quando la forza di reazione al suolo è maggiore del peso del sistema lanciatore-martello. Questo avviene prevalentemente nella fase di doppio appoggio, durante la quale il centro di massa del sistema passa dal punto basso al punto alto. Viceversa, quando la reazione vincolare verticale è minore del peso del sistema (prevalentemente nelle fasi di singolo appoggio), il centro di massa del sistema martello-lanciatore accelera verso il basso e passa dal punto alto al punto basso. Queste oscillazioni del centro di massa del sistema, con accelerazioni positive nelle fasi di doppio appoggio e accelerazioni negative nelle fasi di singolo appog-



**Giorgio Olivieri,**  
Campionati europei Under 20, Grosseto 2017

gio, è stata osservata sia nei lanciatori di élite sia negli atleti di livello prestativo inferiore. Inoltre, Murofushi (2007) ha rilevato delle importanti differenze nelle componenti verticali di reazione al suolo tra atleti di differenti livelli. Nei lanciatori migliori, i maggiori livelli di forza del piede sinistro sono simili a quelli del piede destro, il piede destro mostra un picco di forza molto elevato nel momento dell'impatto col terreno ad ogni giro (quando inizia la fase di doppio appoggio), e infine durante la fase di doppio appoggio di ogni giro si assiste ad un trasferimento graduale delle forze di reazione al suolo dal piede destro al piede sinistro. Negli atleti di livello prestativo inferiore questi fenomeni si notano molto meno (Dapena, 1986; Murofushi, 2007). Con riferimento all'unica componente orizzontale che influisce sul movimento del centro di massa del sistema martello-lanciatore, cioè quella di reazione al suolo, Dapena (1986) ha osservato che il suo movimento orizzontale è piuttosto dritto attraverso il diametro della pedana, o leggermente cicloide, a differenza del movimento verticale, che ha delle oscillazioni molto maggiori. Questo gli ha suggerito che le componenti orizzontali della forza di reazione al suolo siano piccole, se paragonate a quelle verticali. Murofushi (2007) ha confermato l'ipotesi di Dapena in uno studio in cui ha misurato direttamente le componenti orizzontali e quelle verticali delle forze di reazione al suolo (Dapena, 1986; Murofushi, 2007).

#### **CONCLUSIONI**

Il presente studio ha preso in considerazione tutti gli articoli pubblicati su riviste scientifiche e i principali articoli tecnici che trattano questa disciplina (Castaldi, 2022). È stata fatta una suddivisione degli argomenti per aree tematiche ed è stata fatta una loro esposizione critica. In particolare sono stati descritti gli aspetti balistici e aerodinamici della specialità e i movimenti dei centri di massa; è stato anche analizzato il movimento del martello nella sua caratteristica orbita e sono state descritte le forze che intervengono nel lancio. La tecnica di lancio attuale presenta molti elementi di continuità con quella adoperata dai migliori lanciatori negli anni Ottanta e per questo molti articoli della letteratura scientifica sono ancora attuali. Ciò nonostante le nuove tecnologie permetterebbero riesaminazioni di diversi aspetti del lancio, e da questo punto di vista la tecnologia indossabile rappresenta senz'altro la nuova frontiera della ricerca. Esistono inoltre lacune nella ricerca che riguardano alcuni aspetti balistici e aerodinamici. Nella letteratura scientifica manca inoltre una descrizione più accurata e supportata da misurazioni specifiche sulle rotazioni preliminari e sull'entrata al primo giro. Un altro aspetto del lancio che è poco presente nella letteratura scientifica del lancio del martello riguarda l'identificazione e la descrizione degli assi di rotazione e dei momenti angolari coinvolti.

## BIBLIOGRAFIA

- Bartonietz, K., 2008. Hammer throwing. Problems and prospects. *Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention* 458-486.
- Billeter, R., Jostarndt-Fogen, K., Gunthor, W., Hoppele, H., 2003. Fiber type characteristics and myosin light chain expression in a world champion shot putter. *International Journal of Sports Medicine* 24, 203-207.
- Bondarchuck, A., 1987. Modern technique in hammer throwing. Presented at the The Throws. European Athletics Coaches Association, XIV Congress, Aix-Les-Bains.
- Brice, S.M., 2014. Biomechanical analysis of hammer throwing: assessment of speed development. James Cook University.
- Brice, S.M., Ness, K.F., Everingham, Y.L., Rosemond, D., Judge, L.W., 2018. Analysis of the separation angle between the thorax and pelvis, and its association with performance in the hammer throw. *International Journal of Sports Science and Coaching* 13, 993-1000.
- Brice, S.M., Ness, K.F., Rosemond, D., 2015. Validation of a method to predict hammer speed from cable force. *Journal of Sport and Health Science* 4, 258-262.
- Brice, S.M., Ness, K.F., Rosemond, D., 2011. An analysis of the relationship between the linear hammer speed and the thrower applied forces during the hammer throw for male and female throwers. *Sports Biomechanics* 10, 174-184.
- Brice, S.M., Ness, K.F., Rosemond, D., Lyons, K., Davis, M., 2008. Development and validation of a method to directly measure the cable force during the hammer throw. *Sports Biomechanics* 7, 274-287.
- Burke, E., Pataki L., Doherty, K., 1989. The hammer throw: fundamental technique and strength plane. *NSCA Journal*, 11, 4-10.
- Castaldi, G.M., 2021. Almanacco del lancio del martello. [www.fidal.it](http://www.fidal.it)
- Castaldi, G. M., Borzuola, R., Camomilla, V., Bergamini, E., Vannozzi, G., Macaluso, A., 2022. Biomechanics of hammer throw: a narrative review. *Frontiers in Sports and Active living*.
- Dapena, J., 1986. A kinematic study of center of mass motions in the hammer throw. *Journal of biomechanics* 19, 147-158.
- Dapena, J., 1984. The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations. *Journal of Biomechanics* 17, 553-559.
- Dapena, J., Feltner, M.E., 1989. Influence of the direction of the cable force and of the radius of the hammer path on speed fluctuations during hammer throwing. *Journal of Biomechanics* 22, 565-575.
- Dapena, J., Gutiérrez-Dávila, M., Soto, V.M., Rojas, F.J., 2003. Prediction of distance in hammer throwing. *Journal of Sports Sciences* 21, 21-28.
- Dapena, J., Mc Donald, C., 1989. A three-dimensional analysis of angular momentum in the hammer throw. *Medicine and Science in sport and exercise* 21, 206-220.
- Dapena, J., Teves, M.A., 1982. Influence of the diameter of the hammer head on the distance of a hammer throw. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 53, 78-81.
- Dyson, G.H.G., 1973. *Mechanics in Athletics*, University of London Press. ed.
- Fujii, N., Koyama, Y., Ae, M., 2007. Reexamination of acceleration mechanism in hammer throw. *Journal of Biomechanics* 40, 622.
- Gaede, E., 1990. Modern technique analysis sheets for the throwing events. Part V . The hammer throw. *New Studies in Athletics* 1, 61-67.
- Gesser, T.B., 2017. Center of mass kinematics of the hammer and thrower during different hammer throwing drills utilized for training. California State University.
- Goff, J.E., 2013. A review of recent research into aerodynamics of sport projectiles. *Sports Engineering* 16, 137-154.
- Gutierrez-Davila, M., Ruiz, F.J.R., 2005. Comparative biomechanical analysis between hammer throwers of different performance levels. *Journal of human movements studies* 49, 31-47.
- Hill, A.V., 1922. The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *Journal of Physiology* 56, 19-41.
- Hunter, I., 2005. The effect of venue and wind on the distance of a hammer throw. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 76, 347-351.
- János, I.M., Bántay, P., 2002. Statistical test of throwing events on the rotating Earth: Lack of correlations between range and geographic location. *European Physical Journal B* 30, 411-415.
- Jermy, M.C., Burgess, A., Feasey, C., Lensen, M., Willis, C., Tucker, A.S., Syme, R.W.G., 2014. A variable drag coefficient, spatially extended numerical model of hammer throws and new wind tunnel data on current hammers. *Sports Engineering* 17, 151-164.
- Karalis, T.K., 1991. Control torque components of center-of-mass motions in hammer throwing. *Archive of Applied Mechanics* 61, 344-360.
- Kelley, J., 2014. A camera calibration method for a hammer throw analysis tool, in: *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd, pp. 74-79.
- Lapp, V.W., 2014. A study of hammer velocity and the physical factors involved in hammer throwing. *Research Quarterly of the American Physical Education Association* 6, 134-144.
- Lee, C.-W., Liu, G.-C., Lin, D.-C., Huang, C., 2016. The comparison of curvature radius in different performances of hammer throw, in: *34 International Conference of Biomechanics in Sports*.

- Maronski, R., 1991. Optimal distance from the implement to the axis of rotation in hammer and discus throws. *Journal of Biomechanics* 24, 999-1005.
- Mizera, F., Horvath, G., 2002. Influence of environmental factors on shot put and hammer throw range. *Journal of Biomechanics* 35, 785-796.
- Morris, C.J., Bartlett, R.M., 1991. An investigation of the relation between hammer throwing technique and distance thrown. *Journal of Sports Sciences* 9, 404.
- Murofushi, K., Sakurai, S., Umegaki, K., Kobayashi, K., 2005. Development of a system of measure radius of curvature and speed of hammer head during turns in hammer throw. *International Journal of Sport and Health Science* 3, 116-128.
- Murofushi, K., Sakurai, S., Umegaki, K., Takamatsu, J., 2007. Hammer acceleration due to thrower and hammer movement patterns. *Sports Biomechanics* 6, 301-314.
- Ohta, K., Umegaki, K., Murofushi, K., Luo, Z.W., 2010. Analysis of hammer movement based on a parametrically excited pendulum model, in: *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd, pp. 3197-3203.
- Okamoto, A., Sakurai, S., Ikegami, Y., 2007. How the body weight affect the pulling force in hammer throw? *Journal of Biomechanics* 40, 621.
- Otha, K., Umegaki, K., Murofushi, K., Komine, A., Miyaji, C., 2008. Dynamics-based force sensor using accelerometers application of hammer throw training aid, in: *Proceedings of 7th ISEA Conference 2008*. pp. 207-213.
- Otto, R., 1990. Sedykh photosequence. *New Studies in Athletics* 7, 51-65.
- Pavlović, R., 2020a. Biomechanical analysis hammer throw: the influence of kinematic parameters on the result of finalists world championships. *American Journal of Sports Science and Medicine* 8, 36-46.
- Pavlović, R., 2020b. Differences in kinematic parameters between male and female hammer throw finalists of the World Championship in Daegu in 2011. *Pedagogy of Physical Culture and Sports* 24, 255-263.
- Pavlović, R., Prieti, J.L., Petković, E., 2020. The differences in kinematic parameters of hammer throw finalists of the World Championship in London, 2017. *Sportlogia* 2020 16, 126-148.
- Pozzo, R., 1992. Il lancio del martello. *Aspetti teorici e pratici* 1, 21-34.
- Quercetani, R., 2008. *Storia dell'atletica mondiale dal 1860 ad oggi*, 42-43. Edizioni Vallardi.
- Rozhkov, V., Pavlenko, V., Okun, D., Shutieiev, V., Shutieieva, T., Olga, L., 2020. Relationship between the biomechanical parameters technique for preliminary swings among elite hammer throwers. *Journal of Physical Education and Sport* 20, 2258-2262.

- Ruiz, F.J.R., Dávila, M.G., 2009. The relation between angular displacement of the hammer in the double support phase and its velocity in the hammer throw. *Journal of Human Sport and Exercise* 4, 254-261.
- Samozvetov, A., 1974. The acceleration of hammer, in: *The Throws*. Wilt F., 87-90.
- Sedykh, Y., Strelnitski, V., 2018. *Art and Science of hammer throw*, Bookbaby. ed.
- Singh, S., Singh, K., Singh, M., 2011. Comparison of anthropometric characteristics and body types of high performer and low performer hammer throwers. *Brazilian Journal of Biomotricity* 5, 80-86.
- Susanka, P., 1986. Hammer-athlete relationship during the hammer throw. Presented at the 4 International Symposium on Biomechanics in Sports, pp. 194-200.
- Terzis, G., Spengos, K., Karampatsos, G., Manta, P., Georgiadis, G., 2009. Acute effect of drop jumping on throwing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23, 2592-2597.
- Terzis, G., Spengos, K., Kavouras, S., Manta, P., Georgiadis, G., 2010. Muscle fibre type composition and body composition in hammer throwers. *Journal of sports science and medicine* 9, 104-109.
- Virmavirta, M., Isolehto, J., 2014. Determining the location of the body's center of mass for different groups of physically active people. *Journal of Biomechanics* 47, 1909-1913.
- Wan, B., Gao, Y., Wang, Y., Zhang, X., Li, H., Shan, G., 2020. Hammer throw: a pilot study for a novel digital-route for diagnosing and improving its throw quality. *Applied Sciences (Switzerland)* 10.
- Wang, Y., Chang, S., Shan, G., Li, H., 2014. A wireless sensor system for the training of hammer throwers 620-623.
- Wang, Y., Li, H., Shan, G., 2018a. Acquiring the distance data with inertial measurement unit in a wearable device for the training of hammer throwers, in: *Proceedings - 14th International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS 2018*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 492-495.
- Wang, Y., Li, H., Wan, B., Zhang, X., Shan, G., 2018b. Obtaining vital distances using wearable inertial measurement unit for real-time, biomechanical feedback training in hammer-throw. *Applied Sciences (Switzerland)* 8.
- Wang, Y., Wan, B., Li, H., Shan, G., 2016. A wireless sensor system for a biofeedback training of hammer throwers. Springer Plus 5.
- World Athletics, 2020. Competition and technical rules. [www.worldathletics.org](http://www.worldathletics.org).



# LA RIN\_CORSA DEL CÉNTRO DI MASSA

Approfondimenti e riflessioni grazie al confronto dei dati biomeccanici raccolti nelle manifestazioni globali dagli anni '80 ai giorni nostri

Gianmarco Tamberi, Golden Gala, Roma 2025

Cos'è cambiato nel salto in alto dai Campionati del mondo di Roma 1987, quelli dell'allora record mondiale di Kostadinova e dei quattro uomini oltre i 2,35 metri, ai giorni nostri? Lo svela con rigore e passione tecnica il project work di Giulio Ciotti, elaborato nell'ambito del Corso Allenatori Specialisti FIDAL 2024, con la supervisione del Prof. Gaspare Pavei. Attraverso l'analisi comparativa dei dati biomeccanici raccolti in sette grandi manifestazioni internazionali, da Roma '87 a Birmingham '18, l'autore ricostruisce l'evoluzione tecnica del Fosbury-flop con uno sguardo che va ben oltre la semplice nostalgia dei risultati. Tre i momenti chiave esaminati: la rincorsa, la curva e la fase di stacco, scomposti nei loro parame-

tri fondamentali, velocità orizzontale e verticale del centro di massa, lunghezze e angoli dei passi finali, altezze allo stacco. Emerge un quadro di grande interesse: le prestazioni medie sono calate rispetto agli anni Ottanta, ma gli atleti sono mediamente più bassi di 4-5 centimetri, dunque in rapporto alla propria statura saltano proporzionalmente di più. I passi finali si sono accorciati e il ritmo "lungo-corto" convive ormai con quello "corto-lungo". Un lavoro che offre ai tecnici strumenti concreti per costruire modelli tecnici aggiornati, sfidando anche qualche luogo comune radicato sui campi di atletica.

**Federico Pasquali**

## Giulio Ciotti

Tecnico federale di atletica leggera con oltre quindici anni di esperienza nel settore dei salti, maturata ai massimi livelli internazionali. Dal 2016 al 2023 Responsabile salto in alto, allenatore e coordinatore di atleti di livello nazionale ed internazionale del Gruppo Sportivo Fiamme Azzurre Roma. Dal 2017 collabora con la FIDAL come assistente del

Responsabile di settore per il salto in alto: con lo staff della Nazionale italiana ha preso parte a due edizioni dei Giochi olimpici (Tokyo 2021, Parigi 2024), due Campionati del mondo (2019, 2023) e due Campionati europei (2022, 2024). Da marzo 2023 è tecnico personale di Gianmarco Tamberi.

**Tutor: Prof. Gaspare Pavei**

## 1. INTRODUZIONE

Il salto in alto è una delle discipline più affascinanti e tecnicamente complesse dell'atletica leggera. Richiede una combinazione di velocità, forza, coordinazione e tecnica per superare un'asticella posta a diverse altezze. Negli ultimi decenni, l'analisi biomeccanica ha giocato un ruolo cruciale nel migliorare la comprensione delle dinamiche del salto in alto, permettendo agli atleti di ottimizzare le loro prestazioni e ai tecnici di sviluppare programmi di allenamento più efficaci.

Nel campo della biomeccanica, l'analisi dei dati è fondamentale per comprendere il comportamento meccanico del corpo umano durante diverse attività. Questo progetto si propone di confrontare i dati ottenuti da diverse analisi biomeccaniche, con l'obiettivo di identificare differenze e similitudini tra i vari set di dati. Attraverso un'analisi comparativa dettagliata, si cercherà di evidenziare quali fattori influenzano maggiormente i risultati. Sarà un momento di grande approfondimento e scoperta, che ci auguriamo porti a una crescita personale e professionale.

L'analisi biomeccanica consente di scomporre il movimento complesso del salto in alto in componenti più semplici, permettendo di studiare dettagliatamente ogni fase del salto. Questo approccio scientifico offre una visione approfondita su come le forze, i momenti e le velocità influenzano la per-

formance. Attraverso l'uso di tecnologie avanzate come la cinematica 3D, è possibile raccogliere dati precisi e dettagliati che aiutano a identificare le aree di miglioramento per gli atleti.

Questo progetto si propone di confrontare i dati ottenuti da diverse analisi biomeccaniche condotte durante competizioni di salto in alto a livello globale nell'arco di trenta anni. L'obiettivo principale è identificare informazioni chiave che possano contribuire alla creazione di un modello tecnico ideale da fornire ai tecnici del settore. Attraverso un'analisi comparativa dei dati, verranno esaminati vari aspetti come la fase di rincorsa, la fase di stacco e la fase di volo (escludendo la fase di atterraggio, che non comporta significative conseguenze per la performance), al fine di individuare le migliori pratiche e strategie tecniche.

## A) METODOLOGIA

Per raggiungere gli obiettivi prefissati, verranno analizzati i dati provenienti da diverse competizioni internazionali di salto in alto. I dati sono stati raccolti utilizzando tecnologie avanzate e sono analizzati attraverso software specifici per l'analisi biomeccanica. La metodologia prevede:

1. **Raccolta dei dati:** utilizzo di telecamere ad alta frequenza di campionamento per la registrazione dei movimenti (fig. 1).

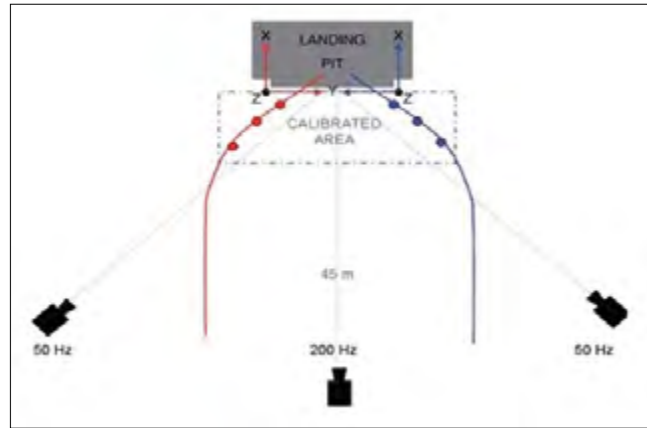


Figura 1. Esempio di posizionamento delle telecamere, un sistema coordinato e un sistema di calibrazione multifasica usato per l'area del salto in alto (nello specifico ai WCH di Helsinki 2005)

2. **Analisi dei dati:** elaborazione dei dati cinematografici per ottenere parametri come tempi di contatto e volo, velocità, accelerazione e angoli articolari, ecc.
3. **Confronto dei dati:**
  - Confronto dei dati raccolti da atleti di élite attraverso l'esame di diverse analisi biomeccaniche di competizioni globali.
  - Creazione di tabelle specifiche per favorire il percorso logico e temporale.
  - Valutazione delle sopraccitate.
  - Creazione di grafici.

## B) RISULTATI ATTESI

Attraverso questo studio, si prevede di ottenere una comprensione approfondita delle componenti biomeccaniche che influenzano la performance nel salto in alto. I risultati attesi includono:

- Identificazione dei parametri chiave che contribuiscono a un salto efficace.
- Sviluppo di un modello tecnico ideale basato sui dati raccolti.
- Idee e proposte pratiche per i tecnici (in primis chi scrive) del settore per ottimizzare l'allenamento e le prestazioni degli atleti.

## C) IMPLICAZIONI PRATICHE

I risultati di questo project work potrebbero avere importanti implicazioni pratiche per il settore specifico. I tecnici potranno utilizzare le informazioni ottenute per sviluppare programmi di allenamento più mirati e personalizzati, migliorando così le prestazioni degli atleti.

Inoltre potrà facilitare la comprensione delle variabili biomeccaniche del salto in alto e non ultimo potrebbe contribuire alla prevenzione degli infortuni, permettendo agli atleti di competere in modo più sicuro ed efficace.

## D) ANALISI DEI DATI

Iniziando dallo studio biomeccanico meno recente rinvenuto on line (C.d.M. Roma 1987) per arrivare agli ultimi datati 2018 (C.d.M. Birmingham) andremo a confrontare i dati che più trovano un filo di continuità dal passato a oggi, in modo da evidenziare la correlazione con la performance e come questi dati si siano variati o meno nel tempo.

Per ogni manifestazione presa in esame, cerchiamo di trovare i dati comuni allo scopo prefissato, partendo dal foglio gara (quando pervenuto) e da un primo racconto di come si sono svolte.

In alcuni casi sono stati trovati i dati relativi al salto in alto donne e uomini, in altri solo uomini. La scelta è ricaduta sui dati degli uomini perchè decisamente superiori in numero.

Verranno riportati entrambi in una tabella allegata, ma per ovvie ragioni il ragionamento è diretto per lo più verso i dati maschili.

## 2. INTRODUZIONE DI CONCETTI BASE DI BIOMECCANICA

### a) La rincorsa

Per iniziare la corsa di avvicinamento all'asticella, nella prima parte rettilinea alcuni atleti camminano per qualche passo e poi iniziano a correre, mentre altri partono da fermo. Il successo di una rincorsa dipende dalla consistenza delle prime due o tre falcate. È qui che si sviluppa il ritmo della corsa. Se la corsa è inconsistente, di solito è a causa dell'inconsistenza della velocità e della lunghezza delle prime due o tre falcate (Tellez 1993).

Nella parte rettilinea, l'atleta corre con l'appoggio metatarsale, lasciando il terreno con il tallone in posizione alta. Cerca sempre un'estensione completa della gamba (fino a 180° al ginocchio) e alla caviglia per tornare con un movimento circolare in cui il tallone si avvicina ai glutei. Da qui, la gamba supera l'anca portando il ginocchio in avanti e leggermente sollevato; in seguito, la si estende progressivamente ruotando verso il suolo cercando trazione.

Il busto, in questa prima parte della corsa, è sempre piegato in avanti, permettendo l'allineamento dell'asse anca-spalla e le braccia agiscono in modo coordinato e alternato con le gambe. Tutte queste azioni permettono il raggiungimento di grandi ampiezze, una certa fluidità di movimento e aiutano ad evitare la perdita di velocità (Velez Blasco 1992).

Lo sviluppo dei primi impulsi della rincorsa è necessario per impostare una corretta meccanica di corsa più avanti, nell'avvicinamento allo stacco.

Questo impulso deve essere sviluppato precocemente, perché i tempi di contatto con il terreno più

brevi a velocità più elevate danno meno possibilità di applicare forza e generare impulso (Leite W. 2013).

Questa prima fase motoria, anche detta fase di drive, è caratterizzata da lunghi tempi di contatto con il suolo. La fase di drive nel salto in alto è molto meno radicale che nei salti orizzontali. L'inclinazione iniziale in avanti è meno esagerata e il processo di aumento dell'angolo del corpo fino alla postura eretta è praticamente completo entro la quarta falcata (Schexnayder 1994).

In questa fase rettilinea della corsa, nelle fasi di volo, l'unica forza che agisce sull'atleta è la forza di gravità, corrispondente al suo peso corporeo, mentre nei momenti di contatto con il terreno, oltre al peso dell'atleta c'è una forza di sostegno che gli consente il movimento rettilineo in avanti e di contrastare la forza peso (Velez Blasco 1992). Nella prima parte della corsa, l'atleta dovrebbe seguire una progressione graduale in cui ogni falcata è un po' più lunga e più veloce della precedente. Dopo poche falcate, il saltatore in alto dovrebbe correre abbastanza velocemente, con falcate lunghe e rilassate molto simili a quelle dei corridori dei 400/800 metri (Dapena 1990).

La prima parte della rincorsa è una fase di accelerazione e copre un numero di passi molto variabile. L'esecuzione meccanica in questa fase, come la posizione del busto in avanti e, successivamente, il ritorno alla postura eretta e una leggera inclinazione laterale, favoriscono una maggiore velocità, fino a 8 m/s negli atleti di alto livello. Secondo Tellez la transizione dalla corsa in linea retta alla curva deve essere sufficientemente graduale in modo che l'accelerazione sia continua.

### b) La curva

I saltatori, da anni ormai utilizzano esclusivamente la tecnica Fosbury-flop; è capitato recentemente di poter vedere in qualche manifestazione giovanile, atlete/i provenienti da remote parti del globo avventurarsi in qualche stile passato, più per una mancanza di conoscenza dei rispettivi allenatori piuttosto che per convenienza tecnica.

Dicevamo i "fosburisti", dopo una prima fase di avviamento rettilinea passano ad una corsa in curva. Uno degli scopi principali della curva è far sì che il saltatore si allontani dall'asticella all'inizio della fase di stacco (Dapena 1990). Secondo Velez Blasco (2010), la parte curva della corsa può avere tre, o, nella maggior parte dei casi, cinque passi. Recentemente solo l'ucraino B. Bondarenko e l'australiano B. Starc hanno impostato rincorse con sei passi in curva.

Quando il saltatore aumenta la sua velocità ed entra nella parte curva della rincorsa, oltre alla forza di gravità è sottoposto all'azione della forza cen-

trifuga (la cui direzione è radiale rispetto al centro di curva ed il suo verso è ad allontanarsi) dettata dalla velocità stessa e dal raggio di curvatura. In questo modo, resiste creando una forza centripeta (verso il centro della curva) ogni volta che la sua gamba prende contatto con il terreno. Questa azione conferisce un andamento "inclinato" alla corsa di avvicinamento (fig. 2), soprattutto nelle ultime falcate.

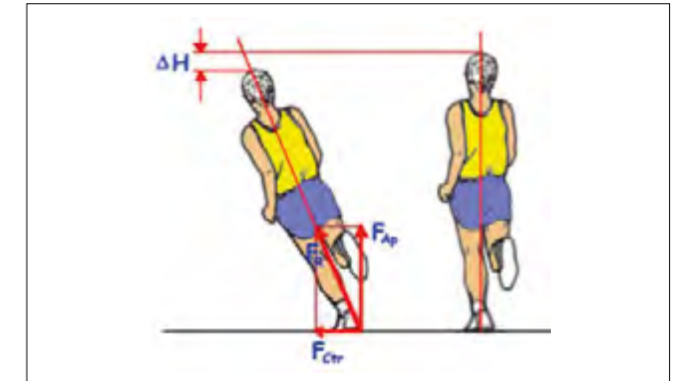


Figura 2. Inclinazione laterale durante la fase di corsa in curva (Velez Blasco - 2010)

La forza risultante ( $F_r$ ) tra la forza di appoggio ( $F_{ap}$ ) e la forza centripeta ( $F_{ctr}$ ) ha origine nell'appoggio del piede; per neutralizzare i momenti angolari, questa forza risultante deve essere diretta verso il centro di massa (CM) dell'atleta. In questo modo, nella parte curva della corsa, il centro di massa è più vicino al centro della curva rispetto al piede di appoggio. In questo caso, l'inclinazione laterale, caratteristica dell'atleta verso l'interno della curva nel Fosbury, prodotta istintivamente per mantenere l'equilibrio e la velocità, può superare i 30°, soprattutto nell'appoggio della gamba all'interno della curva. Questa inclinazione laterale provoca la pendenza laterale del centro di massa dell'atleta. La risultante della forza centripeta e della forza dell'appoggio a terra deve essere diretta in modo da attraversare il centro di massa dell'atleta per evitare momenti di rotazione, che potrebbero causare problemi di equilibrio e potrebbero limitarlo nell'aumentare la sua velocità. Questa posizione inclinata rispetto al centro della curva è uno dei vantaggi di questa tecnica, secondo Velez Blasco (2010).

Nelle fasi di volo, il CM crea una linea retta. Questa linea è tangente al punto in cui il piede ha lasciato terra. Solo quando c'è contatto con il suolo il CM si sposta verso la linea della curva creata dagli appoggi, ma nelle fasi aeree questo spostamento è rettilineo (fig. 3).

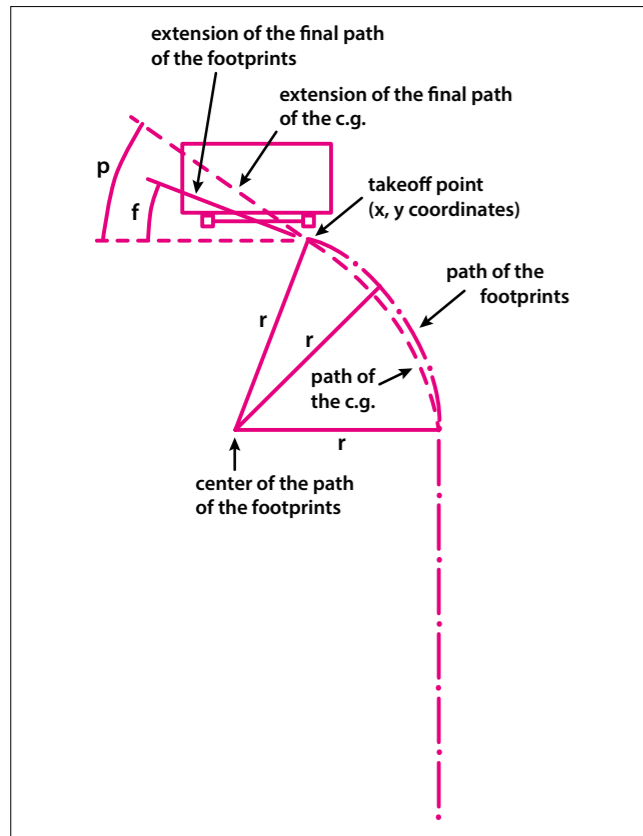


Figura 3. Le traiettorie del CM e degli appoggi

Alla fine della curva, i percorsi del CM e degli appoggi convergono, e questo pone il CM più o meno direttamente sopra il piede di stacco alla fine dello stacco. Una conseguenza della convergenza delle due curve è che l'angolo finale del percorso del CM ( $\rho$ ) è sempre maggiore dell'angolo corrispondente al percorso dell'appoggio ( $f$ ).

In base a ciò, gli atleti più longilinei avranno quindi una grande ampiezza delle falcate, nelle fasi aeree avranno un percorso molto più rettilineo che curvilineo rispetto agli atleti con gambe più corte e godranno meno, rispetto ai brevilinei, dei vantaggi della corsa in curva, poiché avranno meno capacità di frequenza. Ci sono saltatori molto alti che creano parte del movimento di salto introducendo importanti azioni con gli arti superiori, poiché la corsa non provoca una velocità sufficiente per saltare efficacemente (Velez Blasco 1992). Secondo Bravo, Ruf e Velez (2003), la corsa in curva provoca, oltre all'inclinazione laterale dell'atleta per neutralizzare il momento angolare, un aumento della frequenza delle falcate, prodotto fondamentalmente da una riduzione del tempo di volo (soprattutto nelle ultime falcate). Di conseguenza, si ha una tensione della muscolatura estensoria delle gambe, così come una brusca spinta della gamba interna alla curva, elementi

che poi favoriscono una risposta più dinamica durante lo stacco.

I risultati di tutti gli studi presi in considerazione [bibliografia1;2;3;4;5;6;7] ci confermano una tendenza generale verso l'abbassamento dei tempi di volo negli ultimi passi della rincorsa. I tempi di contatto generalmente rimangono gli stessi o crescono leggermente, conducendo a un incremento nella frequenza dei passi. Nell'allenamento, questo viene espresso come un incremento dell'attività della corsa negli ultimi passi (da qui il termine di allenamento dell'attività ad alta frequenza di corsa), con una perdita minima di velocità orizzontale.

**Angoli della rincorsa (fig. 4):** l'angolo che si genera tra la proiezione del CM durante il passo della rincorsa e il piano dei ritmi.

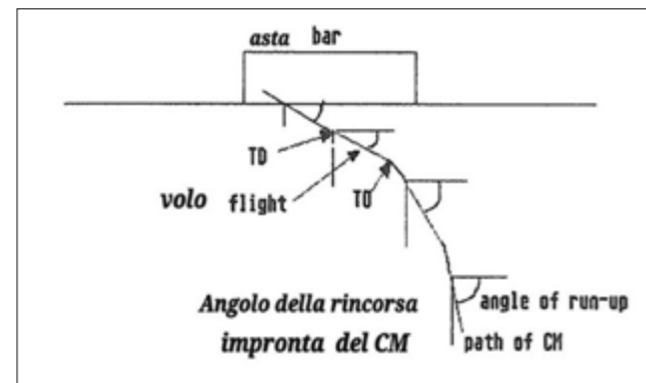


Figura 4. Angoli della rincorsa

### c) La fase finale e lo stacco

#### Gli ultimi tre passi

Qui inizia il momento culminante del salto, dove l'atleta compie una serie di azioni che trasformeranno la velocità orizzontale del CM in velocità verticale durante lo stacco, e dove si formeranno i momenti angolari per superare l'asticella. Gli ultimi tre appoggi hanno un ruolo fondamentale nel salto. È molto importante sottolineare che, con l'evoluzione della tecnica dell'atleta, questi tre appoggi saranno eseguiti molto più vicini allo stesso asse. Questa azione evita una rotazione prematura sull'asse longitudinale dell'atleta e una maggiore oscillazione della gamba libera. Questo è un problema dei saltatori principianti, che aprono il penultimo appoggio all'esterno della linea curva per consentire il passaggio veloce della gamba di stacco, causando una precoce rotazione longitudinale della schiena verso l'asticella (Bravo, Ruf e Velez 2003). Si ha quindi una rotazione prematura sull'asse lon-

gitudinale. Correndo sulla linea di corsa, tutte le forze che l'atleta genera sul terreno passeranno direttamente al CM e non si tratterà di una proiezione di queste forze, come accade quando l'appoggio esce dalla curva.

Dapena (1990) sostiene che un atleta dovrebbe imparare a correre più velocemente e ad abbassare il CM nelle ultime falcate, per poi provare a saltare utilizzando una corsa più veloce e più bassa di quella abituale dell'atleta (questo concetto ribadito da Dapena anche recentemente durante un webinar per la Regione Lazio, va fortemente a contrastare quello che da anni viene richiesto sui nostri campi: "stare alti").

Secondo Dapena, l'atleta deve fare attenzione all'uso di una rincorsa più veloce e più bassa, perché questa sottopone la gamba di stacco a uno stress maggiore e quindi può aumentare il rischio di lesioni se la gamba non è abbastanza forte. Pertanto, l'adozione di una corsa più veloce e più bassa può richiedere un rafforzamento specifico della gamba di stacco (esercizi specifici di prevenzione per gli hamstring), per sopportare l'impatto maggiore che si produrrà quando la gamba di stacco viene "puntellata" alla fine di una corsa più veloce e più bassa. Di conseguenza, una corsa più veloce è utile per aumentare la forza verticale esercitata durante la fase di decollo.

Secondo Velez Blasco (1992), negli ultimi tre passi (preparazione allo stacco) si modifica la posizione del busto, aumentando l'inclinazione verso il centro del cerchio ( $20-30^\circ$ ) per compensare la forza centrifuga e cercare di mantenere la velocità orizzontale.

La velocità raggiunta nelle ultime falcate della corsa, negli uomini, è di 7,7 - 8,7 m/s, e nelle donne va da 6 a 7,5 m/s. È importante che non ci sia una grande perdita di velocità tra la terzultima e l'ultima falcata.

L'ultima parte della rincorsa è la più importante, poiché è qui che l'atleta cambia la velocità orizzontale ( $V_0$ ) in velocità verticale ( $V_v$ ) che verrà utilizzata nello stacco.

L'altezza massima che raggiunge il CM è dovuta principalmente alla velocità verticale generata dall'atleta allo stacco. Il passaggio dal terzultimo al penultimo appoggio diventa molto importante; l'atleta inizia a compiere una serie di azioni che gli consentiranno un impulso proficuo per ottenere la massima altezza del CM durante il volo (Velez Blasco 1992).

Il contatto del piede nel penultimo appoggio (Fig. 5), avviene tendenzialmente "flat", piatto, e si pone in avanti rispetto all'asse verticale del ginocchio.

Il busto si trova un po' inclinato in avanti o quasi verticale, mantenendo l'inclinazione laterale. L'attenzione è rivolta all'asticella. In questo momento, l'anca deve essere relativamente alta e in avanti. La

gamba sinistra (posteriore) dopo la flessione del ginocchio va velocemente in avanti senza avvicinare molto il tallone ai glutei (passaggio radente). Le braccia aiutano attivamente e possono agire in modi diversi (Bravo, Ruf e Velez 2003).

Durante la prima parte di questo appoggio (ammortizzazione), il saltatore accumula energia generando tensione ai quadricipiti per rilasciarla nella seconda parte, creando attivamente accelerazione che si concretizza in una spinta in avanti. Velez Blasco (1992) ha analizzato il tempo e le durate relative delle due fasi che effettua il saltatore (ammortizzazione, quindi eccentrico, vs. accelerazione, quindi concentrico) per migliorare la qualità del penultimo appoggio, considerato cruciale per lo stacco. Da queste analisi ha concluso che gli atleti migliori mostrano un tempo doppio nella fase concentrica rispetto a quella eccentrica; in altre parole, la fase di estensione è doppia rispetto a quella di flessione.

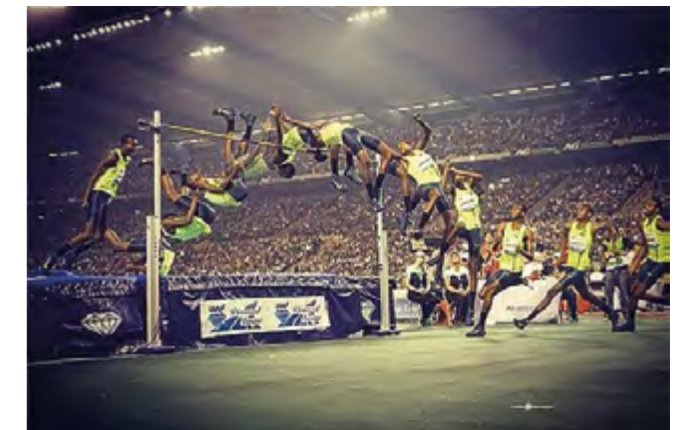


Figura 5. La sequenza fotografica della fase finale del salto a 2,43m di M. Barshim.

Nel penultimo appoggio, terminando la fase di ammortizzazione, la gamba in appoggio raggiunge la sua massima flessione, iniziando da qui la fase attiva, mantenendo la coscia dell'arto di stacco (quella controlaterale) quasi orizzontale al suolo.

La gamba si estende rapidamente e quasi completamente ( $150 + 10^\circ$ ), portando l'anca in avanti, di conseguenza il busto rallenta perché il bacino accelera.

Il forte impulso orizzontale del penultimo appoggio e la rapida estensione della gamba di stacco avanti portano a una posizione simile a una "spaccata" aerea, ottenendo anche un'inclinazione del tronco verso la parte posteriore prima dello stacco. Il tempo di volo ( $T_v$ ) di questo passo è quasi la metà dei precedenti (Velez Blasco 1992).

Durante l'ultimo passo è fondamentale non avere perdite di velocità raggiunte durante le fasi precedenti della rincorsa. La velocità in avvicinamento

allo stacco deve essere tale da permettere al saltatore di convertire la  $V_o$  in  $V_v$ .

Quando la gamba di stacco viene portata davanti al corpo alla fine della rincorsa, i muscoli estensori del ginocchio cercano di opporsi alla flessione della gamba, ma la gamba è costretta a flettersi comunque (fase eccentrica dello stacco), a causa dell'avanzamento del saltatore e delle forze in gioco. In questo processo i muscoli estensori del ginocchio della gamba di stacco sono allungati (Tellez 1993).

Al momento del posizionamento del piede di stacco, questo deve trovarsi sulla stessa linea del penultimo appoggio. Durante il tempo che il saltatore impiegherà per eseguire lo stacco, l'azione della forza centrifuga porterà il suo CM sulla verticale. Il volo e le rotazioni necessarie per valicare l'asticella dipendono molto dal comportamento dell'atleta durante questa oscillazione. Quando in questa fase il raddrizzamento è eseguito correttamente, i diversi segmenti corporei dell'atleta sono animati da una velocità lineare crescente in direzione del piede d'appoggio-testa (Fig. 6); si prosegue con movimenti di tipo rotazionale quando si lascia il terreno (momenti angolari in avanti - LADEL -, e laterali - LLAT -). Inoltre, l'atleta deve generare un'altra rotazione intorno al proprio asse longitudinale (LZ) per portare la schiena parallela all'asticella, e ciò si ottiene principalmente grazie all'azione della gamba libera.

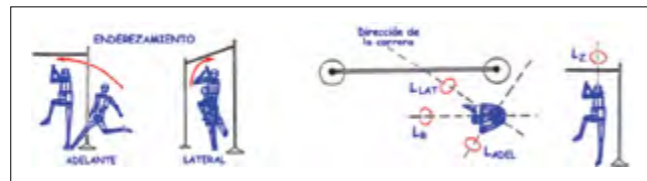


Figura 6. Raddrizzamento e momento angolare (Velez Blasco - 1993)

#### d) La velocità orizzontale e la velocità verticale del CM negli ultimi appoggi

La velocità verticale alla fine della fase di stacco, che è di fondamentale importanza per l'altezza del salto, è determinata dalla velocità verticale all'inizio della fase di stacco e dalla variazione del suo valore durante la fase di stacco. Nel salto in alto, normalmente, alla fine della rincorsa (cioè all'inizio della fase di stacco) l'atleta si muove velocemente in avanti e anche leggermente verso il basso. In altre parole, la velocità verticale all'inizio della fase di stacco ha solitamente un piccolo valore negativo. È evidente che per una data variazione della velocità verticale durante la fase di decollo, l'atleta con la minore quantità di velocità verticale negativa al momento del touchdown salterà più in alto (Leite W. 2013).

La velocità orizzontale del CM dell'atleta presenta una grande tendenza individuale. I saltatori d'élite raggiungono, alla fine della rincorsa, una velocità orizzontale compresa tra 7,0 e 8,5 m/s (le donne circa 1 m/s in meno).

Durante lo stacco, la velocità orizzontale del saltatore è ridotta a 2.3-3.7 m/s (Dapena 1980). Questa riduzione sembra essere un valore costante per ogni atleta. Valori corrispondenti negli uomini vanno, nel caso dei migliori saltatori del mondo, da 3.5 m/s a 4.2 m/s. Diversi studi hanno inoltre trovato che la velocità verticale nello stacco, che determina strettamente l'altezza del volo, va da 4.5 a 5.0 m/s negli uomini e da 3.8 a 4.3 m/s nelle donne.

#### e) Le lunghezze dei passi

In letteratura (Dapena 1990; Tellez 1993; Velez Blasco 1992; Schexnayder I. 1994), c'è un consenso quasi unanime sul fatto che una rincorsa tipica sia caratterizzata dall'accorciamento del terzultimo passo e del passo di stacco, e dall'allungamento del penultimo passo. Questa discrepanza in lunghezza crea "due ritmi", che sono definiti nel gergo di campo come "lungo-corto/corto-lungo".

Questi passi possono sembrare trascinati rispetto alla parte rettilinea della rincorsa a causa di una pronunciata attività della pianta del piede e di una riduzione dei tempi di volo (azione radente). Tuttavia, l'allungamento del penultimo passo sopra menzionato non è stato riscontrato in tutti i saltatori.

Dapena (1980) fornisce una quantità di dati sulla lunghezza dei passi finali. Egli ha riportato che le lunghezze dei passi variano da 1,55 m a 2,11 m per il terzultimo passo, da 1,57 m a 2,10 m per il penultimo passo e da 1,62 m a 2,10 m per l'ultimo passo. Tuttavia, riteniamo che la lunghezza dell'ultimo passo vari individualmente e che non sia ancora stata accertata una chiara tendenza ad allungare o accorciare l'ultimo passo.

#### f) Le altezze del CM allo stacco

Da un punto di vista biomeccanico, Hay (1973) stabilì che lo stacco e il volo nel salto in alto potevano essere separati in tre altezze parziali.

1. **H1 - L'altezza dello stacco.** È determinata da parametri antropometrici come le masse dei segmenti del corpo, le lunghezze dei segmenti e la locazione del baricentro nei segmenti, come anche gli angoli del corpo nell'istante dello stacco.
2. **H2 - L'altezza del volo.** Dipende strettamente dalla velocità verticale del CM alla fine dello stacco (TO). La velocità verticale ( $V_v$ ) del CM nello stacco stesso è determinata dall'impulso

verticale, dalla velocità verticale del CM nella spinta e dalla massa del saltatore. In alcuni studi è presentata come altezza massima da terra mentre in altri come altezza massima relativa dal punto di partenza H1.

3. **H3 - L'altezza oltre l'asticella** (Fig. 7). La differenza tra l'altezza massima della parabola del CM e l'altezza dell'asticella dipende dall'orientazione dei segmenti che attraversano l'asticella. Secondo Dapena (1980), è altamente influenzato dal momento angolare del corpo intero rispetto l'asse trasversale attraverso il CM.

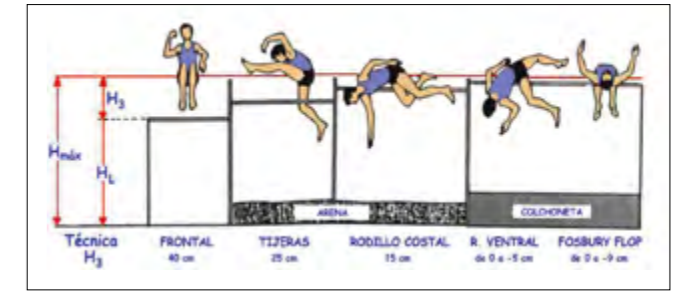


Figura 7. Altezza del CM sopra l'asta nelle diverse tecniche di valicamento

### 3. BREVE PRESENTAZIONE DELLE COMPETIZIONI ESAMINATE

#### a) Campionati del mondo Roma 1987

Gara (Fig. 8) che ha avuto risultati eccezionali: record del mondo per la bulgara Stefka Kostadinova (caduto dopo 37 anni per opera della saltatrice ucraina Mauchikch - 2,10 m) e nella gara maschile quattro atleti oltre i 2,35 m e sette oltre 2,30 m.

Foglio Gara		1.80	1.85	1.90	1.83	1.96	1.99	2.02	2.04	2.06	2.08	2.09
S. KOSTADINOWA		-	o	o	-	o	o	o	XXO	XO	-	XO
T. BYKOWA		-	o	o	o	o	o	o	o	XX	X	
S. BEYER		o	o	o	o	o	XO	XXX				
S. COSTA		o	o	o	o	o	XX	X				
L. KOSITSINA		-	o	o	XXO	o	XXX					
H. REDETEKY		-	o	o	o	XO	XXX					
S. ISSAEVA		o	o	o	o	XXX						
L. RITTER		-	o	XO	o	XXX						
L. AVDEENKO		-	XO	o	o	XXX						
		2.10	2.15	2.20	2.25	2.29	2.32	2.35	2.38	2.40		
P. SJOEBERG		-	-	-	o	-	o	o	o	XXX		
I. PAKLIN		-	-	o	o	XO	o	XO	XXO	XXX		
G. AVDEENKO		-	-	-	o	o	o	XXO	XXO	XXX		
D. MÖGENBURG		-	-	-	o	o	o	o	X	XX		
C. SAUNDERS		-	-	o	o	-	o	XXX				
S. MATEI		-	-	o	XXO	o	o	X	XX			
J. ZVARA		-	o	o	o	o	XXO					
C. THIRÄNHARDT		-	-	-	o	o	XXX					

Figura 8. Foglio gara Roma 1987

**b) Giochi olimpici Seoul 1988**

Gara (Fig. 9) che in entrambi gli eventi vide i vincitori, Avdeenko (URS) e Ritter (USA), ribaltare i pronostici che vedevano favoriti rispettivamente lo svedese campione del mondo in carica P. Sjöberg e la bulgara detentrica del record del mondo S. Kostadinova, e stabilire i rispettivi record olimpici.

Class	Naz.	Nome	175	180	185	190	193	196	199	201	203	203	
1	USA	Ritter, Louise	-	o	o	o	o	o	o	o	xxx	o	2.03
2	BUL	Kostadinova, Stefka	-	o	o	o	o	o	o	o	xxx	x	2.01
3	URS	Bykova, Tamara	-	o	o	o	o	xo	xxo	xxx			1.99
4	URS	Tourtschak, Olga	-	o	o	xo	o	o	xxx				1.96
5	BUL	Andonova, Ludmilla	-	o	o	o	o	xxx					1.93
5	ROM	Astafei, Galina	o	o	o	o	o	xxx					1.93
7	AUS	Stanton, Christine	-	o	o	o	xo	xxx					1.93
8	GBR	Davies, Diana	-	o	o	o	xxx						1.90

Class	Naz.	Nome	215	220	225	228	231	234	236	238	240	244	
1	URS	Avdeenko, Genadi	-	o	o	-	o	o	o	xo	x-	xx	2.38
2	USA	Conway, Hollis	-	xo	xo	o	o	xo	o	xxx			2.36
3	URS	Povarnitsyne, Rudolf	-	o	o	o	o	o	xo	xxx			2.36
3	SWE	Sjöberg, Patrick	-	-	o	-	o	-	xo	xxx			2.36
5	BER	Saunders, Clarence	-	o	xo	-	x-	o	x-	xx			2.34
6	FRG	Mögenburg, Dietmar	-	-	o	-	xo	xo	x-	xx			2.34
7	FRG	Thranhardt, Carlo	-	-	o	-	o	xx-	x				2.31
7	URS	Paklin, Igor	-	o	o	-	o	x-	xx				2.31

Figura 9. Foglio gara Seoul 1988

**c) Campionati del mondo Helsinki 2005**

La media dei risultati ufficiali ( $2,27 \pm 0,04$  m) della finale (Fig. 10) in questa competizione è decisamente bassa per un Campionato del mondo, forse condizionata dal repentino abbassamento delle temperature nel momento topico della gara.

Anche i dati trovati nel report erano assai scarsi d'altra parte, ma non potevamo trascurarla vista la presenza di un italiano in pedana (Nicola Ciotti, 5° in finale).

Alla prova di 2,32 m si sono presentati 8 partecipanti su 13 alla finale: tutti hanno sbagliato le prime due prove. Il finale thriller ha salutato la vittoria dell'ucraino meno quotato, Y. Krymarenko, che ha saputo sfruttare il piccolo vantaggio dell'essere l'ultimo a saltare. Infatti, dopo che tutti avevano sbagliato la loro terza prova, solo lui è riuscito a valicare i 2,32 m, diventando così campione del mondo.

**Campionati del Mondo Helsinki 2005**

Pos.	Nome	Nazione	2,15	2,2	2,25	2,29	2,32	Misura (m)	Note
1	Yuriy Krymarenko	Ucraina	o	o	xo	o	xxx	2,32	
2	Victor Moya	Cuba	o	o	o	o	xxx	2,29	RP
2	Yaroslav Rybakov	Russia	-	o	o	o	xxx	2,29	
4	Mark Boswell	Canada	-	o	xo	o	xxx	2,29	FS
5	Jaroslav Bába	Rep. Ceca	-	o	o	xo	xxx	2,29	
5	Nicola Ciotti	Italia	o	o	o	xo	xxx	2,29	
7	Stefan Holm	Svezia	-	o	xo	xo	xxx	2,29	
8	Vyacheslav Voronin	Russia	-	xo	o	xxx	xxx	2,29	

Figura 10. Foglio gara Helsinki 2005

**d) Campionati del mondo Osaka 2007**

La gara (Fig. 11) può essere considerata di livello medio-alto, con tre saltatori capaci di raggiungere i 2,35 m. Tutti sono rimasti sorpresi dall'arrivo di un atleta semi sconosciuto, D. Thomas delle Bahamas, che ha utilizzato una tecnica molto scolastica ma certamente efficace. Lo svedese S. Holm, che era tra i favoriti della stagione, è finito ai piedi del podio, con grande stupore suo e generale.

Rank	Name	NAT	Result(m)	2.16	2.21	2.26	2.30	2.33	2.35	2.37
1	Donald THOMAS	BAH	2.35	-	xO	xO	O	xxO	O	xxx
2	Yaroslav RYBAKOV	RUS	2.35	-	O	O	O	O	xO	xxx
3	Kyriakos IOANNOU	CYP	2.35	O	O	O	xO	xO	xO	xxx
4	Stefan HOLM	SWE	2.33	-	O	O	O	O	xxx	
5	Tomas JANKU	CZE	2.30	O	O	O	O	xxx		
5	Victor MOYA	CUB	2.30	O	O	O	O	xxx		
7	Eike ONNEN	GER	2.26	O	-	O	x-	xx		
8	Jaroslav BABA	CZE	2.26	O	O	xO	xxx			

Figura 11. Foglio gara Osaka 2007

**e) Campionati del mondo Daegu 2011**

La gara (Fig. 12) vede i primi 8 tutti oltre 2,29 m, un risultato di assoluto valore. Jesse Williams, un atleta americano di 27 anni, è stato capace di arrivare a 2,35 m senza mai sbagliare, alla quota successiva 2,37 m invece né lui né il russo A. Dmitrik sono stati in grado di oltrepassare l'asticella. Solo per gli errori il russo ha dovuto concedere la vittoria all'americano Williams, mentre T. Barry con 2,32 m si è piazzato 3° salendo alla ribalta col proprio primato personale. Appare per la prima volta in una rassegna iridata il qatariota poco più che ventenne Mutaz Essa Barshim, che per i successivi quindici anni sarà indiscusso protagonista della specialità.

**Finale Daegu 2011**

Pos.	Nome	Nazione	2,20	2,25	2,29	2,32	2,35	2,37	Ris	Note
1	Jesse Williams	Stati Uniti	o	o	o	o	o	xxx	2,35 m	
2	Aleksandr Dmitrik	Russia	o	o	xo	xo	xo	xxx	2,35 m	
3	Trevor Barry	Bahamas	o	o	-	o	xxx		2,32 m	RP
4	Jaroslav Bába	Rep. Ceca	o	o	xxx	o	xxx		2,32 m	
5	Dimitrios Chondrokokkis	Grecia	o	o	o	xxx	xxx		2,32 m	RP
5	Ivan Ukhov	Russia	o	o	o	xxx	xxx		2,32 m	
7	Mutaz Essa Barshim	Qatar	o	xo	xo	xxx	xxx		2,32 m	
8	Aleksandr Sushov	Russia	o	xo	o	xxx			2,29 m	

Figura 12. Foglio gara Daegu 2011

**f) Campionati del mondo Londra 2017**

Per la finale del salto in alto (Fig. 13) il favorito d'obbligo era Barshim: il qatariota era imbattuto nelle sue ultime sei gare e in cima alle liste stagionali all'aperto con 2,38 m.

Barshim è stato all'altezza delle aspettative superando 2,20 m, 2,25 m, 2,29 m, 2,32 m e 2,35 m tutte al primo tentativo. Barshim detiene il record asiatico dal 2014 con 2,43 m. Daniel Lysenko e Majd Eddin Ghazal hanno conquistato rispettivamente l'argento e il bronzo, con Lysenko che ha gareggiato condizionato da un dolore persistente dovuto ad un precedente infortunio alla gamba di stacco.

Pos	Atleta	Nazionalità	2,20	2,25	2,29	2,32	2,35	2,40	Misura	Note
1	Mutaz Essa Barshim	Qatar	o	o	o	o	o	xxx	2,35 m	
2	Daniil Lysenko	Atleti Neutrali Autorizzati	o	o	xo	o	xxx		2,32 m	
3	Majd Eddin Ghazal	Siria	o	o	xo	xxx			2,29 m	
4	Edgar Rivera	Messico	o	o	xxx	xxx			2,29 m	
5	Mateusz Przybylko	Germania	o	xo	xxx	xxx			2,29 m	
6	Robert Grabarz	Gran Bretagna	o	o	xxx				2,25 m	
	Ilya Ivanyuk	Atleti Neutrali Autorizzati	o	o	xxx				2,25 m	
8	Bryan McBride	Stati Uniti	o	xo	xxx				2,25 m	

Figura 13. Foglio gara Londra 2017



**g) Campionati del mondo indoor Birmingham 2018**

Nonostante abbia raggiunto il primato stagionale mondiale di 2,38 m a Teheran all'inizio di febbraio, il campione del mondo outdoor in carica Barshim si è presentato all'appuntamento con qualche problema tecnico. Nel frattempo, Daniil Lysenko, che gareggiava come atleta neutrale autorizzato, aveva registrato i suoi migliori risultati in tre occasioni nel periodo invernale, saltando a 2,38 m. Sebbene nessuno dei finalisti di Birmingham abbia superato il proprio record stagionale, il salto in alto ha prodotto la prima sorpresa dei campionati. In un'inversione di tendenza rispetto alla gara di Londra del 2017, è stato l'argento mondiale Lysenko a balzare in testa, conquistando il suo primo titolo internazionale di rilievo. Lui e Barshim hanno ottenuto alla prima prova 2,20 m, 2,25 m, 2,29 m e 2,33 m, mentre solo Lysenko ha passato la misura successiva di 2,36 m. Nonostante il 13° posto nella classifica mondiale 2018, è stato il tedesco Mateusz Przybylko (sarà poi nella stagione estiva proprio lui ad aggiudicarsi il titolo di campione europeo a Berlino con un sontuoso 2,35 m) a conquistare la medaglia di bronzo, con un secondo salto di 2,29 m.

Pos.	Nome	Nazionalità	2,20	2,25	2,29	2,33	2,36	2,38 m	Misura	Note
1	Daniil Lysenko	Atleti Neutrali Autorizzati	o	o	o	o	xxx	r	2,36 m	
2	Mutaz Essa Barshim	Qatar	o	o	o	o	xxx		2,33 m	
3	Mateusz Przybylko	Germania	xo	xxx	xo	xxx			2,29 m	
4	Erik Kynard	Stati Uniti	o	o	xxx	xxx			2,29 m	
5	Sylwester Bednarek	Polonia	xo	o	xxx				2,25 m	
6	Maksim Nedaseckiy	Russia	o	xxx					2,20 m	
6	Donald Thomas	Bahamas	o	xxx					2,20 m	
6	Wang Yu	Cina	o	xxx					2,20 m	

Figura 14. Foglio gara Birmingham 2018

**4. CONFRONTO TRA PASSATO E PRESENTE**

Per districarsi nella marea di dati, la soluzione più semplice è stata quella di creare una serie di tabelle appositamente pensate, nelle quali abbiamo inserito tutti i dati dei report delle manifestazioni globali presentati nel paragrafo precedente. Una volta terminato l'inserimento dei dati, abbiamo realizzato dei grafici per semplificare la comprensione degli andamenti.

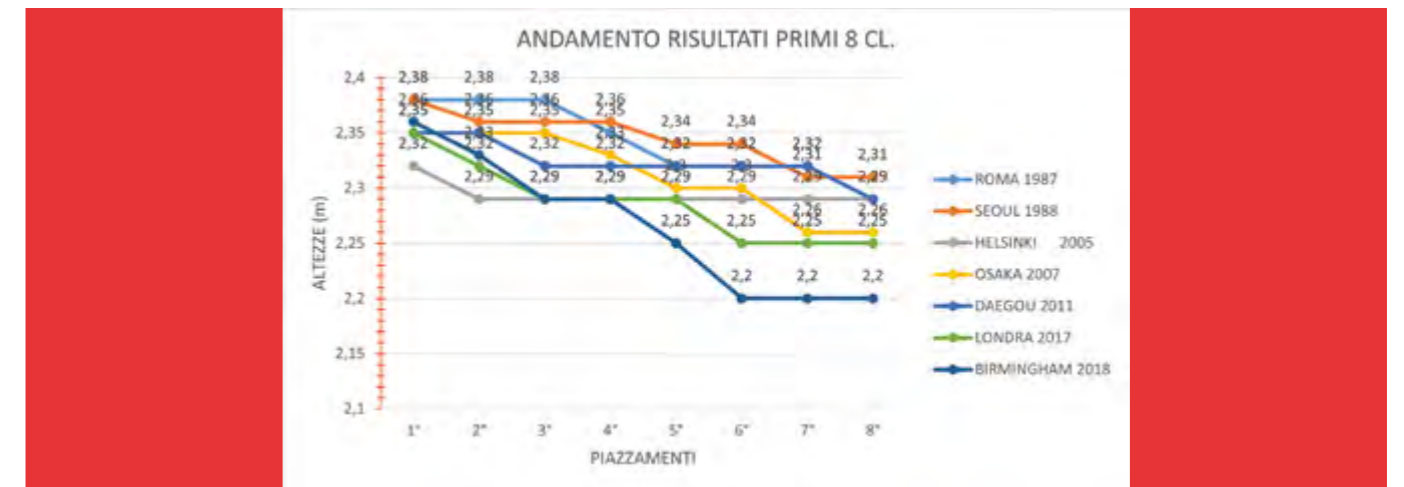


Grafico 1. Performance

Il grafico 1 riporta le performance delle manifestazioni globali prese in considerazione, partendo dal 1° classificato (a sinistra del grafico) fino all'8° classificato (a destra del grafico). Indubbiamente, il calo dagli anni '80 a oggi è ben evidenziato; è sempre difficile quantificare se sia dovuto a un maggior controllo nell'uso di sostanze dopanti o a un cambiamento negativo delle metodiche di allenamento. Resta il fatto che la media dei primi tre classificati a Roma '87 e Seoul '88 è rispettivamente di 2,38 m e 2,37 m, vette mai più raggiunte nel terzo millennio (fino al 2018).



Grafico 2. Confronto altezze. Nel grafico l'altezza media è alternata alla misura media saltata

Un possibile e semplice parametro antropometrico che poteva variare la misura saltata negli anni poteva essere l'altezza media dei saltatori; nel grafico 2 è stato quindi presentato un confronto tra l'altezza media dei saltatori e l'altezza saltata nelle manifestazioni esaminate.

Possiamo rilevare che la media dell'altezza degli atleti da podio è in forte calo, passando da 195-197 cm a 191-192 cm. Anche le prestazioni dei primi otto classificati sono inferiori, ma osservando meglio il delta percentuale tra Roma e Londra, si può addirittura constatare un effetto contrario: in rapporto alla propria altezza, nel 2011 per salire sul podio hanno saltato il 3-4% in più.

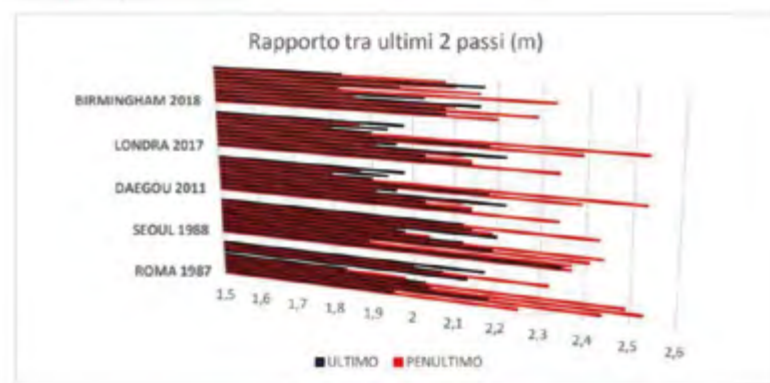


Grafico 3. Lunghezza passi

Il grafico 3 mostra la lunghezza dei passi finali e mette in evidenza il "ritmo degli ultimi due passi". Come abbiamo detto nell'introduzione, questo dato è fortemente influenzato dalle caratteristiche antropometriche, dalle capacità di forza e dalla tecnica di corsa.

Sappiamo che ci sono principalmente due modi di interpretare questi due passi finali: alcuni saltatori ricercano un ritmo "corto-lungo", mentre altri puntano su "lungo-corto". Quale dei due sia da preferire non è ancora stato definito con certezza, ma possiamo constatarne l'evoluzione.

Abbiamo riportato tutti i dati perché analizzando solo le medie si sarebbe travisato il trend reale. In questo caso, notiamo come i passi siano andati via via accorciandosi. A Roma '87, 6 atleti su 8 (75%) avevano un ritmo lungo-corto; a Seoul '88, 7 su 8 (88%) lungo-corto; a Daegu '11, 4 su 8 (50%) lungo-corto; a Londra '17, di nuovo 4 su 8 (50%); e a Birmingham '18, 5 su 8 (63%) lungo-corto. Possiamo quindi dire che la tendenza sia quella di utilizzare entrambe le espressioni ritmiche in egual misura.

Valori medi delle lunghezze degli ultimi passi			
	TERZULTIMO	PENULTIMO	STACCO
1987		2,30	2,10
dev.st		0,22	0,12
1988		2,30	2,10
dev.st		0,19	0,14
m.		2,30	2,10
1980			
2011	2,1	2,10	2,00
dev.st	0,35	0,27	0,12
2017	2,1	2,10	2,00
dev.st	0,35	0,27	0,12
2018	2	2,10	2,00
dev.st	0,21	0,15	0,14
m.			
2000	2,1	2,10	2,0
delta % '80/'20		-8%	-4%

Tabella 3 bis

Prendiamo ora in esame gli angoli della rincorsa (Tab. 4).

Purtroppo, data la difficoltà di creare un grafico che spiegasse chiaramente cos'è accaduto agli angoli della rincorsa nel corso dei decenni, abbiamo prima estratto i valori medi dall'intera tabella e poi, incuriositi dal risultato del delta percentuale, abbiamo immaginato che le curve risultanti fossero concretamente distanti una dall'altra come forma.

CONFRONTO Valori medi degli angoli della rincorsa ANNI '80 E 2000 (°)			
	TERZULTIMO	PENULTIMO	STACCO
PRIMI 8	52	43	37
dev.st (8cl.)	6	7	5
1980			
PODIO	53	44	36
PRIMI 8	64	53	32
dev.st (8cl.)	5	6	8
2000			
PODIO	66	55	39
delta % '80/'00	23%	23%	-14%
	25%	25%	8%
			PRIMI 8
			PODIO

Tabella 4

Facendo un veloce salto temporale, ci accorgiamo che negli anni '80, al momento del terzultimo passo, l'angolo di riferimento era di 52° per i primi 8, mentre negli ultimi rilevamenti è di 64° (+23%). La stessa cosa avviene nel penultimo passo, dove troviamo sempre 10° di differenza, passando da 43° a 53° (+23%). Per l'angolo della rincorsa allo stacco, invece, le cose cambiano: la media degli ultimi anni è più bassa per i primi 8 di un 14%, ma più alta di un 8% per il podio. Incrociando il grafico 3 con le tabelle 3 bis e 4, abbiamo provato a disegnare le curve risultanti per meglio dimostrare la loro sostanziale diversità (Fig. 5).

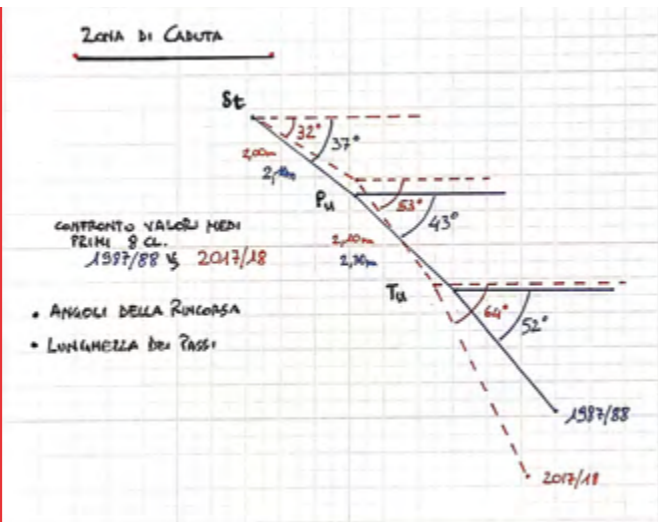


Grafico 5. Disegno dell'autore. Le curve derivate dalle medie relative agli angoli della rincorsa e delle lunghezze dei passi primi 8 classificati

Gli angoli al ginocchio al momento dello stacco (6) sono sempre un dato interessante da analizzare. Abbiamo preso tutti i dati e dopo averli inseriti in apposite tabelle abbiamo ricavato le medie dei primi 8 classificati e del podio.

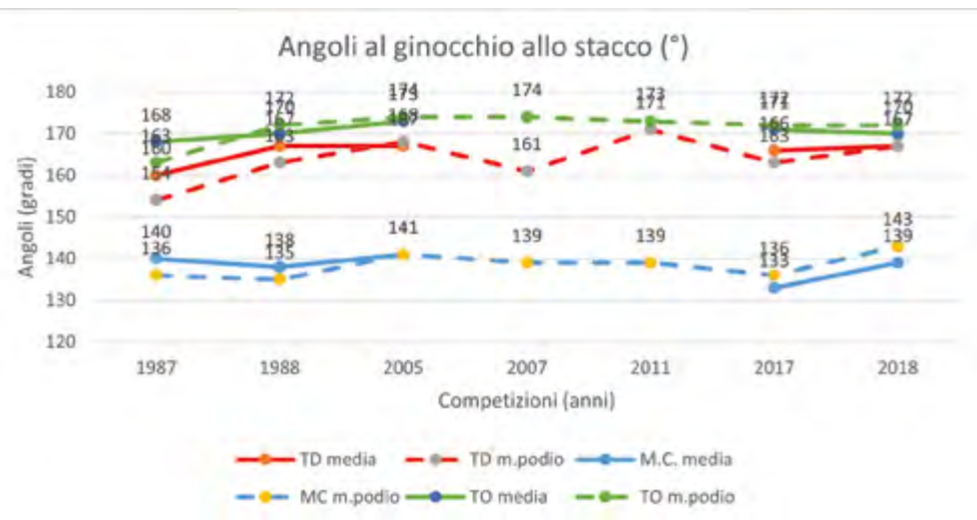


Grafico 6. Angoli allo stacco

Al momento in cui il tallone del piede di stacco prende contatto con il suolo (TD) nell'appoggio dello stacco (in rosso), la tendenza nell'87 era di presentare la gamba più flessa con angoli medi di 160° e addirittura di 154° per il podio rispetto ai 166°/167° del 2017-2018.

Il massimo angolo di caricamento (in azzurro), invece, ha un andamento più lineare, ma con un'interessante inversione: infatti, se nei dati del 1987-1988 vediamo che per raggiungere il podio il massimo caricamento era maggiore, nel 2017-2018 accade il contrario; rispetto alla media dei finalisti, il podio si ottiene con un caricamento inferiore.



Grafico 6 bis. Tempi di contatto allo stacco

Nel grafico 6 bis troviamo la comparazione dei tempi di contatto al momento dello stacco. Durante l'elaborazione dei dati, la nostra idea iniziale era di analizzare sia i tempi di contatto (Tc) che i tempi di volo (Tv) durante la fase finale della rincorsa. Tuttavia, ci siamo accorti che, rispetto agli anni '80, quando questi dati erano tenuti in grande considerazione, col passare degli anni sono andati a scomparire. La spiegazione che ci siamo dati è che questo tipo di rilevazioni porta prevalentemente a considerazioni sulla ritmica, risultando di scarsa rilevanza biomeccanica.

Per lo più, i dati trovati fanno riferimento allo stacco o al massimo agli ultimi due passi. Possiamo comunque osservare come il Tc dello stacco si sia alzato nei primi anni 2000 per poi ridursi notevolmente in media negli ultimi anni. Inoltre, non troviamo più Tc superiori ai 200 ms come nei report degli anni '80, probabilmente a causa di una recrudescenza dello stile precedente, il ventrale, che oggi è completamente scomparso. I valori medi dei primi 8 classificati fino agli inizi del nuovo millennio erano sempre più bassi rispetto alla media dei primi 3 classificati, ma negli ultimi due report analizzati si osserva una decisa inversione di tendenza.



Grafico 7. Velocità

Il grafico 7 mostra la comparazione delle velocità orizzontali e le velocità verticali al take off. Il grafico manca di alcuni dati importanti che non sono stati inseriti nei report del periodo dal 2005 al 2011.

Tuttavia, nella linea di tendenza, anche se non troppo marcata, si osserva un incremento delle velocità orizzontali nel corso degli anni. Questo potrebbe indicare che in passato si cercava una decisa frenata sul penultimo appoggio prima dello stacco, mentre in tempi più recenti la tendenza è di impattare molto più velocemente.

Velocità Orizzontali medie nei diversi momenti della rincorsa				
contatti	TERZULTIMO	PENULTIMO	STACCO	
	VoTD	VoTD	VoTD	
87/'88	7,77	7,4	3,7	media
	7,9	7,45	3,63	m. podio
	0,4	0,25	0,42	dev. St. primi 8 cl.
17/'18	7,66	7,56	4,16	media
	7,53	7,38	4,24	m. podio
	0,24	0,28	0,38	dev. St. primi 8 cl.
delta %				
'87 - 88	-1%	2%	12%	primi 8
'17 - 18	-5%	-1%	17%	podio

Tabella 7 bis

Come si vede anche nella tabella 7 bis, il delta % delle Vo tra gli anni '80 e il 2010 differisce di poco al TD del terzultimo (-1;-5%), e penultimo appoggio (+2;-1%); si distanzia invece notevolmente allo stacco (+12%). Soprattutto vediamo che il podio ha un 17% di velocità in più al momento dell'inversione allo stacco.



Grafico 8. Altezze

Per quanto riguarda il grafico 8, abbiamo preso in considerazione il dato che meglio poteva essere confrontato indipendentemente dalle caratteristiche antropometriche dei saltatori: la differenza tra la misura saltata e il picco della parabola del centro di massa (H3). Potrebbe sembrare un dato irrilevante, ma fornisce una chiave di lettura immediata per comprendere lo sviluppo e la crescita della tecnica Fosbury negli anni. Nel grafico si vede chiaramente come la differenza H3 si sia ridotta notevolmente, praticamente dimezzata, nel corso degli anni. Inoltre, nel 2018, per raggiungere il podio è stato necessario mettere meno luce tra sé e l'asticella rispetto alla media dei finalisti, confermando che la tecnica di valicamento si sta perfezionando sempre di più.

## 5. CONCLUSIONE

Arrivati alla fine di questo viaggio di approfondimento, è ora il momento di trarre le dovute conclusioni. Le performance nel periodo preso in esame sono in calo in senso assoluto, ma se messe in relazione alle altezze degli atleti questo trend risulta meno evidente. Tuttavia, non possiamo dire lo stesso per quanto riguarda la rappresentazione delle curve di rincorsa, generate dalla media della lunghezza dei passi finali, degli angoli della rincorsa e delle velocità orizzontali.

Le ampiezze dei passi finali sono in netto calo: l'8% per il penultimo passo e il 4% per l'ultimo passo. Al contrario, le velocità e gli angoli sembrano essere in aumento, sintomo di una crescente ricerca di inclinazione e frequenza.

I tempi di contatto (Tc) e gli angoli di caricamento del ginocchio allo stacco confermano un deciso miglioramento della fase di inversione. Infatti, osservando i dati, notiamo che i tempi di contatto si accorciano per raggiungere il podio, mentre gli angoli di massimo caricamento aumentando di valore migliorano.

In conclusione, sebbene le performance assolute siano in calo, l'analisi dettagliata delle variabili tecniche mostra un'evoluzione positiva in termini di tecnica e biomeccanica, indicando un continuo perfezionamento delle metodiche di allenamento e delle strategie di gara.

Dobbiamo ammettere una limitazione a tutta questa analisi. I dati sono stati raccolti in gara, il palcoscenico in cui gli atleti sono veramente in grado di esprimere il miglior potenziale, ma indubbiamente il peggior setup sperimentale, dove la maggior parte delle standardizzazioni normalmente richieste per un'analisi biomeccanica vengono a mancare. Questo può inficiare i dati in due modi: in primis l'accuratezza e precisione del dato sono inferiori, quindi una piccola variazione di un angolo può essere persa o ininfluente; secondariamente, l'analisi longitudinale su trent'anni con convenzioni e soprattutto tecnologie totalmente differenti può dare valori diversi anche per lo stesso fenomeno. D'altro canto in laboratorio nessuno ha mai raccolto e analizzato salti oltre i 2.30 m, quindi queste analisi sono indispensabili per cercare di avere dei riferimenti.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Prof. Peter Bruggemann Ph.D - Deutsche Sporthochschule, Cologne; Dr. Petr Susanka Ph.D - ftvs Charles University, Prague and a Scientific Project Team on behalf of the I.A.A.F.: "Scientific report on the II World Championships in Athletics" (Rome, 1987)
2. Anton Conrad & Wolfgang Ritzdorf - a cura di Mario Testi: "Analisi Biomeccanica del salto in alto" (Seoul, 1988)
3. Juha Isolehto, Mikko Virmavirta, Heikki Kyröläinen and Paavo Komi. "Biomechanical analysis of the high jump at the 2005 IAAF World Championships in Athletics"
4. Michiyoshi Ae, Ryu Nagahara, Yuji Ohshima, Hiroyuki Koyama, and Kazuhito Shibayama - University of Tsukuba; Megumi Takamoto - Osaka University of Health and Sport Science. "Challenge in the men's high jump: A brief report on biomechanical analysis of the techniques for top three men high jumpers in the IAAF World Championships in Athletics, Osaka 2007"
5. Korean Society of Sport Biomechanics "Biomechanics Research Project in the IAAF World Championships Daegu 2011"
6. Dr Gareth Nicholson and Dr Athanassios Bissas (Carnegie School of Sport) - Stéphane Merlino (IAAF Project Leader). "Biomechanical Report for the IAAF World Championships 2017: High Jump Men. London, UK: International Association of Athletics Federations"
7. Nicholson, G., Bennett, T. D., Bissas, A. and Merlino, S. (2019). "Biomechanical Report for the IAAF World Indoor Championships 2018: High Jump Men. Birmingham, UK: International Association of Athletics Federations"
8. Dapena J. (1990). "Introduction to the biomechanics of high jumping"
9. Velez Blasco M. (1992). "Training in athletics: high jump"
10. Tellez K. (1993) "Elements of the high jump. Track Coach"
11. Schexnayder I. (1994) "Special consideration for the high jump approach"
12. Dapena J., Ae M., Iiboshi (1997). "A. Closer look at the shape of the high jump run-up"
13. Bravo J., Ruf H., Velez M. (2003). "Saltos verticais: atletismo 2"
14. Velez Blasco M. (2010/2011). "Salto de Altura - 2"
15. Leite W. Secretariat of Education of the State of Ceará - SEDUC (2013) "Biomechanical analysis of running in the high jump"
16. Vladimir M. Zatsiorsky - Dapena J. (2014) "Biomechanics In Sport - Performance Enhancement And Injury Prevention"



# ANALISI DEL COMPORTAMENTO MECCANICO DEL TENDINE DI ACHILLE IN PROVE DI CAMBI DI DIREZIONE

## Gabriele Mantio

Laurea magistrale in Scienze dello sport e della prestazione fisica presso l'Università di Verona, ex tecnico delle categorie giovanili presso Atletica Ceriale San Giorgio, Safatletica Piemonte e Fondazione M. Bentegodi.

## Mattia Braggio

Laureato in Ingegneria gestionale, ricercatore in ingegneria industriale, membro del consiglio giovanile della FIDAL, istruttore FIDAL dal 2019.

Christian Falocchi, Campionati mondiali indoor, Torun 2026

Nel panorama della biomeccanica sportiva, il tendine d'Achille è una struttura da sempre studiata nella corsa rettilinea e nei gesti di salto, ma raramente indagata in uno dei movimenti più frequenti e impegnativi dello sport: il cambio di direzione. Eppure, chiunque abbia mai visto un atleta frenare bruscamente e ripartire in direzione opposta intuisce che qualcosa di straordinario accade in quella frazione di secondo: un accumulo e una restituzione di energia che coinvolge strutture muscolari e tendinee al limite delle proprie capacità. Con questo lavoro, Mantio e Braggio affrontano in maniera sistematica il comportamento del tendine d'Achille durante il cambio di direzione, applicando un protocollo sperimentale di notevole sofisticazione tecnologica: motion capture optoelettronico, elet-

tromiografia di superficie, pedana dinamometrica ed ecografia ad ultrasuoni, integrati in un sistema di acquisizione sincronizzata. La ricerca, condotta su quindici soggetti con esperienza sportiva negli sport di squadra, analizza le variazioni di forza, velocità e potenza tendinea a tre intensità di corsa, restituendo dati originali su una componente biomeccanica ancora largamente inesplorata. I risultati aprono uno sguardo nuovo non soltanto sulla fisiologia del tendine, ma anche sulla comprensione del rischio di infortuni e sulle possibili ricadute nell'allenamento dell'atletica leggera, dove il cambio di direzione è molto più presente di quanto comunemente si riconosca.

Federico Pasquali

## ABSTRACT

Il cambio di direzione è definito come una variazione della posizione del corpo nello spazio eseguita nel minor tempo possibile ed è una componente fondamentale di numerose discipline sportive. Nonostante il crescente interesse scientifico sull'argomento negli ultimi decenni, la letteratura presenta ancora una carenza di studi che analizzino la relazione tra la prestazione nel cambio di direzione e il comportamento del tendine d'Achille, una struttura biomeccanica chiave in grado di assorbire energia durante la fase di frenata e di restituire, almeno in parte, una quota nella successiva fase propulsiva. Alla luce di queste considerazioni, lo scopo della presente tesi è analizzare e caratterizzare il comportamento del tendine d'Achille durante il cambio di direzione, al fine di comprendere meglio il suo potenziale contributo alla prestazione in questa specifica task motoria.

## INTRODUZIONE

Sebbene il cambio di direzione (Change of Direction, CoD) sia tipico di discipline sportive come il calcio, la pallacanestro (vedi Figura 1) e la pallamano e nonostante l'atletica leggera sia tradizionalmente considerata uno sport caratterizzato da movimenti prevalentemente lineari, il CoD è presente in diverse discipline, assumendo forme e rilevanza biomeccanica differenti.



Figura 1 - Esempio di un CoD nel basket

Nelle gare di corsa su pista, il CoD è implicito e continuo a causa della geometria curvilinea dell'anello, richiedendo adattamenti cinematici e cinetici specifici, in particolare nelle distanze che includono curve prolungate e nelle competizioni indoor, dove il raggio di curvatura è ridotto. Nei contesti outdoor e nel cross country, il CoD diventa esplicito e frequente, imposto dalla variabilità del tracciato. Nelle discipline di salto, in particolare nel salto in alto, la rincorsa curvilinea rappresenta un elemento tecnico essenziale per la generazione del momento angolare durante la fase di stacco. Nei lanci rotatori, il CoD si manifesta attraverso rapide variazioni della direzione del movimento segmentale e dell'applicazione delle forze, risultando

centrale per l'efficienza prestazionale. Nel complesso, il CoD nell'atletica leggera può essere interpretato come un fenomeno continuo, tecnico o rotazionale, a seconda della disciplina, suggerendo la necessità di considerarlo come una componente biomeccanica rilevante nella valutazione della prestazione e del carico neuromuscolare.

Dal punto di vista biomeccanico, eseguire un CoD durante la corsa richiede modificazioni del pattern locomotorio nella direzione di corsa, ovvero l'applicazione di un impulso al suolo addizionale nella nuova direzione di corsa (Hatamoto et al., 2011), e una torsione del busto e del core (Andrews et al., 1977).

I muscoli coinvolti nella locomozione sono funzionalmente associati a tessuti elastici, presenti sia all'interno del muscolo (componenti elastiche in parallelo) sia nei tendini (elementi elastici in serie), i quali si deformano sotto carico immagazzinando energia elastica e la rilasciano quando la forza applicata diminuisce. Negli ultimi anni, l'importanza delle molle biologiche nella locomozione è stata ampiamente riconosciuta, evidenziando il ruolo essenziale dei meccanismi elastici nell'efficienza del sistema muscolo-scheletrico.

Nel presente studio l'attenzione è rivolta al tendine d'Achille (AT), struttura in grado di assorbire energia durante la fase di frenata e di restituire una parte nella successiva fase propulsiva. Si tratta del tendine più spesso e resistente del corpo umano, ma anche uno dei più soggetti a rottura; esso rappresenta il tendine congiunto dei muscoli gastrocnemio e soleo. Misurazioni dirette indicano che l'AT può essere sottoposto a carichi fino a 9 kN durante la corsa, pari a circa 12,5 volte il peso corporeo (Doral, 2010).

Secondo la classificazione proposta da Roberts e Azizi (2011), il ruolo funzionale dei tendini può essere ricondotto a tre meccanismi principali, come mostrato in Figura 2.

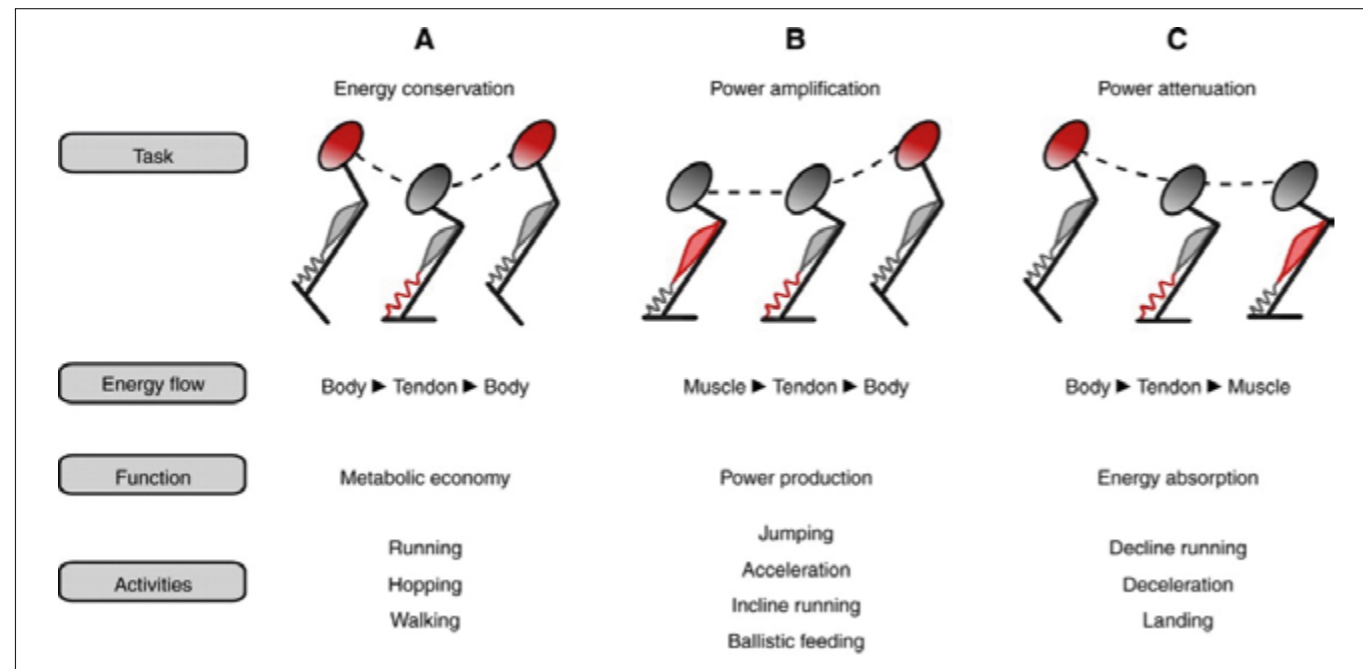


Figura 2 - Ruoli funzionali del tendine (tratto da Roberts e Azizi, 2011)

Il primo è la conservazione dell'energia, attraverso la quale l'energia meccanica del corpo o di un segmento viene temporaneamente immagazzinata nei tendini e successivamente restituita; nella corsa, una quota rilevante del lavoro meccanico è attribuibile proprio al recupero elastico. A supporto di questo meccanismo, Monte et al. (2021) hanno analizzato l'efficienza apparente (rapporto tra potenza meccanica e potenza metabolica) durante esercizi di hopping, osservando che essa aumenta con la potenza sviluppata a livello del tendine e presenta un'intercetta di circa 20-25%, valore comparabile all'efficienza muscolare, come mostrato in Figura 3. La differenza tra efficienza apparente ed efficienza muscolare riflette quindi il contributo del recupero elastico dell'AT, come già suggerito da Alexander (1991).

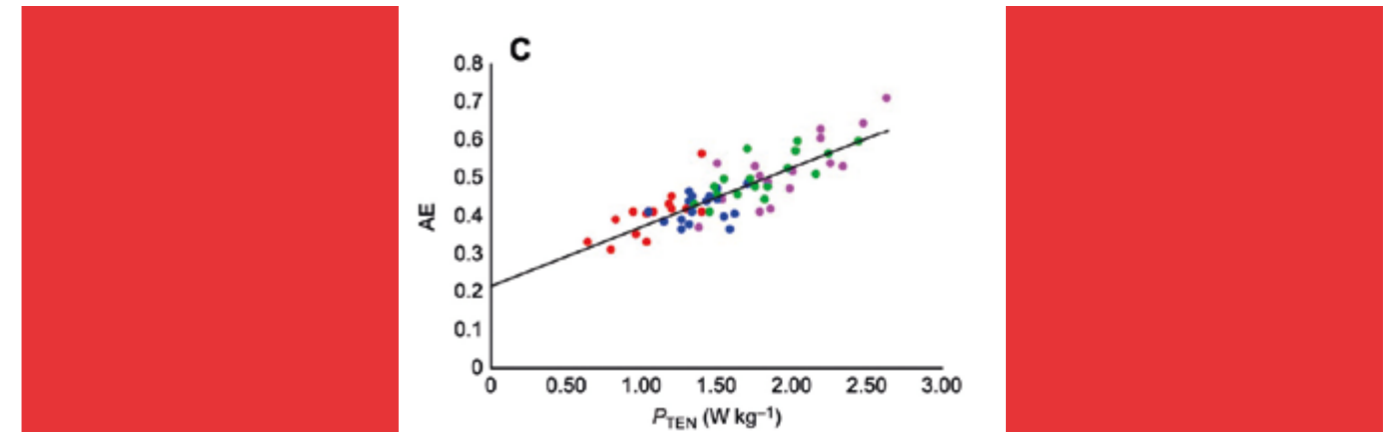


Figura 3 - Efficienza apparente in funzione della potenza meccanica sviluppata a livello del tendine (Monte et al., 2021)

Il secondo meccanismo è l'amplificazione di energia, mediante il quale il lavoro prodotto dal muscolo viene immagazzinato lentamente nel tendine e rilasciato rapidamente, consentendo l'erogazione di una potenza superiore alla massima capacità istantanea del muscolo. Tale processo non implica un aumento dell'energia totale del sistema, ma una sua restituzione in un intervallo temporale più breve. Infine, i tendini possono svolgere una funzione di assorbimento dell'energia, particolarmente rilevante nelle fasi di decelerazione. In questo caso, l'energia del corpo viene temporaneamente immagazzinata nel tendine e successivamente trasferita al muscolo, che viene attivamente allungato per dissiparla. Durante la corsa e in compiti motori caratterizzati da elevati carichi di frenata, questo meccanismo consente di attenuare gli input di potenza muscolare ed è fondamentale nella gestione della fase di assorbimento del carico. In tale contesto, l'AT prima assorbe l'energia durante la decelerazione, poi contribuisce ad amplificare la potenza muscolare e a trasferirla al corpo, favorendo una maggiore velocità di movimento.

### METODOLOGIA

Al fine di indagare il comportamento dell'AT durante il CoD a diverse velocità (slow, medium, fast) sono stati reclutati quindici soggetti maschi che avevano esperienza con il gesto tecnico del CoD in quanto praticanti sport di squadra come il calcio o il basket. I soggetti hanno inizialmente compilato un questionario relativo all'attività fisica praticata (sport praticato, anni di pratica, numero ore allenamento settimanali e arto dominante) e sono stati raccolti dati relativamente alla loro età e alle caratteristiche antropometriche (altezza, massa e lunghezza della gamba e spessore di caviglia e ginocchio, parametri necessari per la determinazione del modello plug-in gait): questi dati sono riportati in Tabella 1.

Soggetto	Età	Altezza (cm)	Massa (kg)	Anni pratica	N. ore settimanali
S1	26	191	81	20	12
S3	19	180	73	15	18
S4	21	174	70	16	10
S5	25	185	82	18	7
S7	20	172	75	10	3
S8	19	186	62	16	6
S9	26	175	73	20	12
S11	25	169	60	15	4
S13	25	176	67	13	2
S14	23	180	85	2	7
S15	22	190	80	15	4
$\mu$	22.82	179.82	73.45	14.55	7.73
$\sigma$	2.75	7.37	8.21	5.07	4.84

Tabella 1 - Dati antropometrici e dati relativi all'attività fisica svolta

Dei quindici soggetti iniziali, quattro (S2, S6, S10 e S12) sono stati esclusi dall'analisi dati a causa di problemi relativi all'acquisizione del segnale di forza. Tutti i soggetti, a parte S13, avevano come arto dominante il DX e tutti i soggetti, tranne S5, praticavano calcio.

### STRUMENTAZIONE

Per l'analisi biomeccanica del CoD è stato utilizzato un sistema integrato composto da motion capture, elettromiografia di superficie, piattaforma di forza ed ecografia. Il movimento è stato acquisito mediante un sistema di motion capture optoelettronico Vicon MX, basato sulla triangolazione 3D delle traiettorie dei marker riflettenti illuminati da LED nel vicino infrarosso. Il sistema, preceduto da una procedura di calibrazione, è stato configurato con otto telecamere disposte in modo da coprire l'intero CoD (vedi Figura 4); i dati cinematici sono stati campionati a 200 Hz.

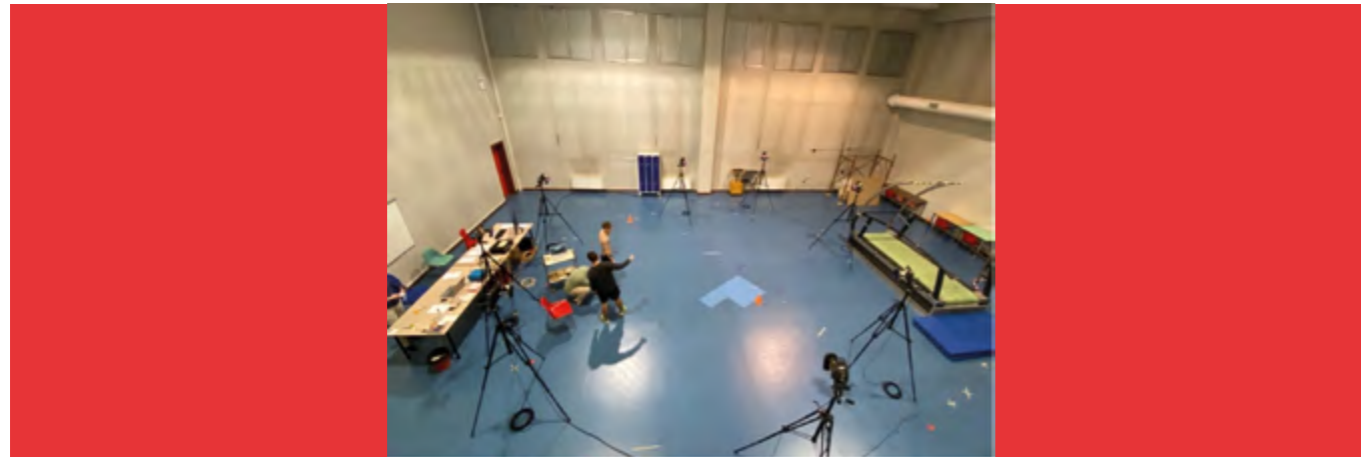


Figura 4 - Sistema MoCap Vicon nel laboratorio di biomeccanica

Per quanto riguarda il marker set, è stato utilizzato un PlugInGait Lower Body modificato con 30 marker, inclusi marcatori specifici lungo la linea d'azione dell'AT per descriverne la curvatura, e un marker applicato alla sonda ecografica, come illustrato in Figura 5.



Figura 5 - Preparazione del soggetto prima dello svolgimento delle prove

L'attività muscolare è stata registrata tramite elettromiografia di superficie wireless (Aurion/Wave, Come-ta), dotata di 16 canali con frequenza di campionamento di 1000 Hz (vedi Figura 6).



Figura 6 - Sistema EMG Aurion

Gli elettrodi sono stati posizionati secondo le linee guida SENIAM, dopo adeguata preparazione della cute, sui muscoli vasto laterale, bicipite femorale, tibiale anteriore e gastrocnemio mediale, come mostrato in Figura 7.



Figura 7 - Elettrodi EMG posizionati sul vasto laterale e sul tibiale anteriore

Le forze di reazione al suolo sono state misurate mediante una pedana dinamometrica AMTI (riportata in Figura 8), in grado di rilevare le componenti della GRF, i momenti delle forze e il centro di pressione, utilizzando celle di carico disposte ai vertici della piattaforma.

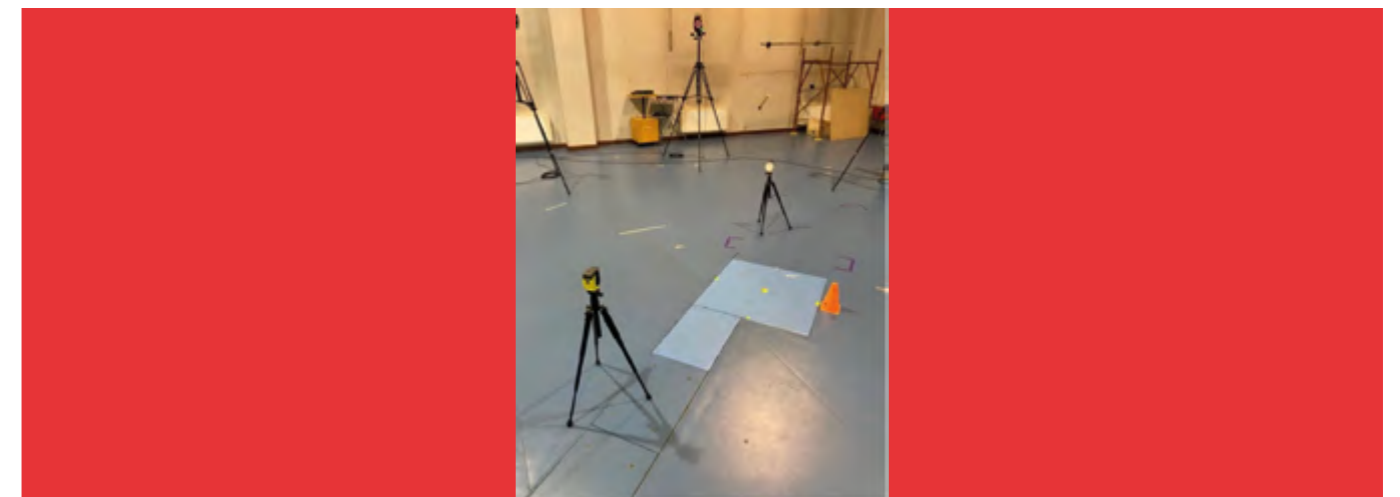


Figura 8 - Pedana dinamometrica AMTI nel laboratorio di biomeccanica

Il comportamento dell'AT è stato analizzato tramite ecografia ad ultrasuoni Telemed MicrUs EXT-1H rev.D (riportata in Figura 9), con frequenza di campionamento di 46 Hz. La sonda lineare (6 cm) è stata posizionata in corrispondenza della giunzione mio-tendinea tra gastrocnemio mediale e AT, fissata con bande elastiche e interposta a un guanto in lattice riempito di gel per migliorare l'aderenza e la qualità del segnale.

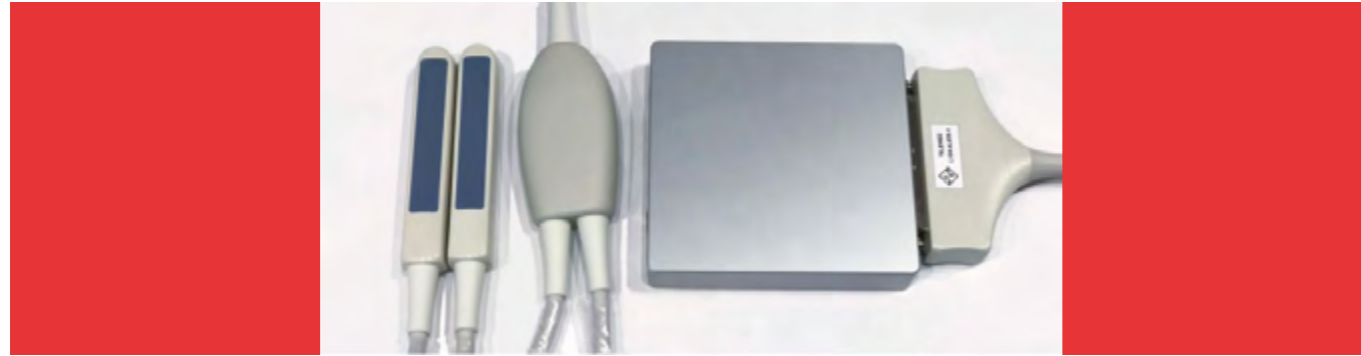


Figura 9 - Ecografo Telemed MicrUs EXT-1H rev.D, con doppia sonda

Le immagini ecografiche sono state analizzate mediante il software Tracker, utilizzato per il tracciamento manuale del punto di inserzione del tendine. Dopo la definizione del sistema di riferimento e la calibrazione spaziale e temporale, il software ha consentito di quantificare lo spostamento dell'AT durante l'intera prova, con particolare attenzione alla fase di CoD.

#### PROTOCOLLO SPERIMENTALE

I soggetti hanno eseguito le prove indossando scarpe da ginnastica e pantaloncini aderenti, a torso nudo (vedi Figura 10). Dopo la rilevazione delle misure antropometriche, sono stati posizionati marker, elettrodi EMG e sonda ecografica. Successivamente, è stata acquisita una prova statica per la calibrazione del modello biomeccanico.



Figura 10 - Soggetto durante la preparazione con la sonda ecografica

Dopo aver controllato che tutte le telecamere fossero funzionanti e che la piattaforma di forza fosse resettata, si iniziava la raccolta dati. Il soggetto veniva posto al centro delle telecamere per registrare un'immagine statica del soggetto, come riportato in Figura 11 e in Figura 12.



Figura 11 - Soggetto durante la prova statica

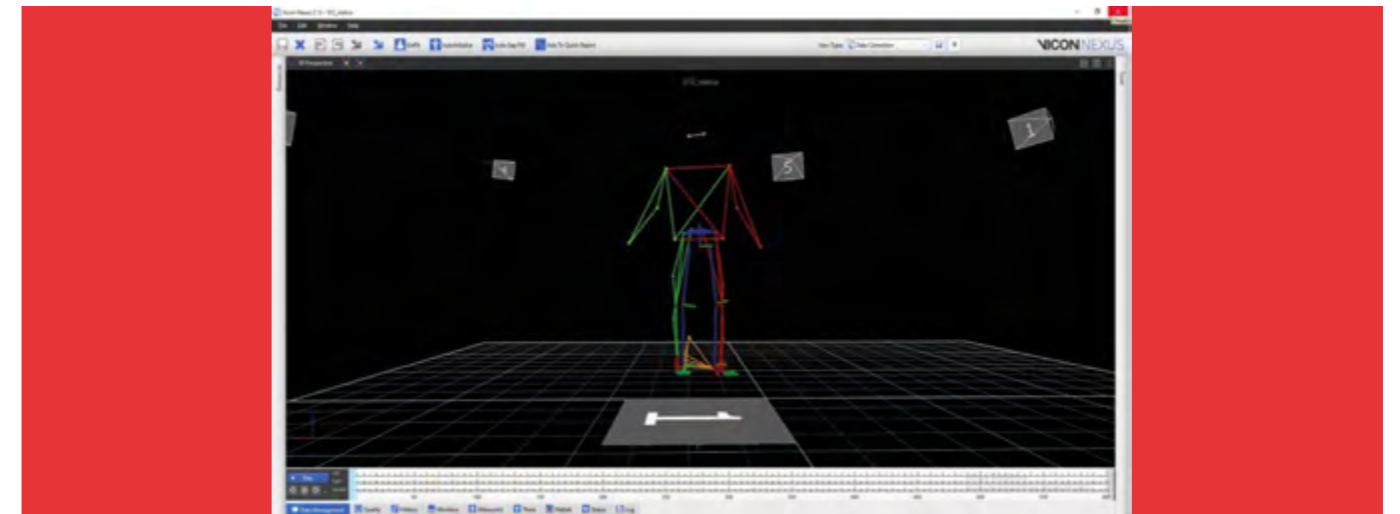


Figura 12 - Rappresentazione su Nexus del soggetto

Dopo una fase di familiarizzazione, il protocollo sperimentale prevedeva una corsa di 5 m, l'esecuzione di un CoD sulla piattaforma di forza (con appoggio di un solo piede) e il ritorno alla linea di partenza. Le prove sono state eseguite a tre velocità controllate:

- Slow: 8 km·h<sup>-1</sup>
- Medium: 9.5 km·h<sup>-1</sup>
- Fast: 11 km·h<sup>-1</sup>

Per ciascuna velocità sono state effettuate almeno tre prove, con circa un minuto di recupero tra le ripetizioni. La durata complessiva del protocollo è stata di circa venti minuti per soggetto.

#### ANALISI DEI DATI

In questo articolo sono riportati solo i dati relativi a T force, AT velocity e AT power. Il primo step dell'analisi consisteva nel trattare i video ecografici tramite il software Tracker. È stato effettuato un tracciamento manuale frame by frame dell'inserzione dell'AT, permettendo di determinare la sua posizione in ogni frame per ciascuna prova. Da queste informazioni è stata calcolata la velocità di accorciamento e allungamento del tendine, frame by frame. La fase di appoggio è stata identificata a partire dai dati della pedana di forza (GRF), applicando una soglia di 1 N. Il momento netto della caviglia (illustrato in Figura 13) è stato stimato mediante un approccio di dinamica inversa 3D, secondo Monte et al. (2022). Durante la fase statica, il braccio del momento interno del tendine (IMA) è stato calcolato nel piano sagittale, considerando la curvatura

del tendine. L'IMA è stato definito come la distanza minima tra il centro di rotazione della caviglia (identificato tramite un marcatore sul malleolo laterale) e la linea d'azione della forza del tendine, calcolata frame by frame.

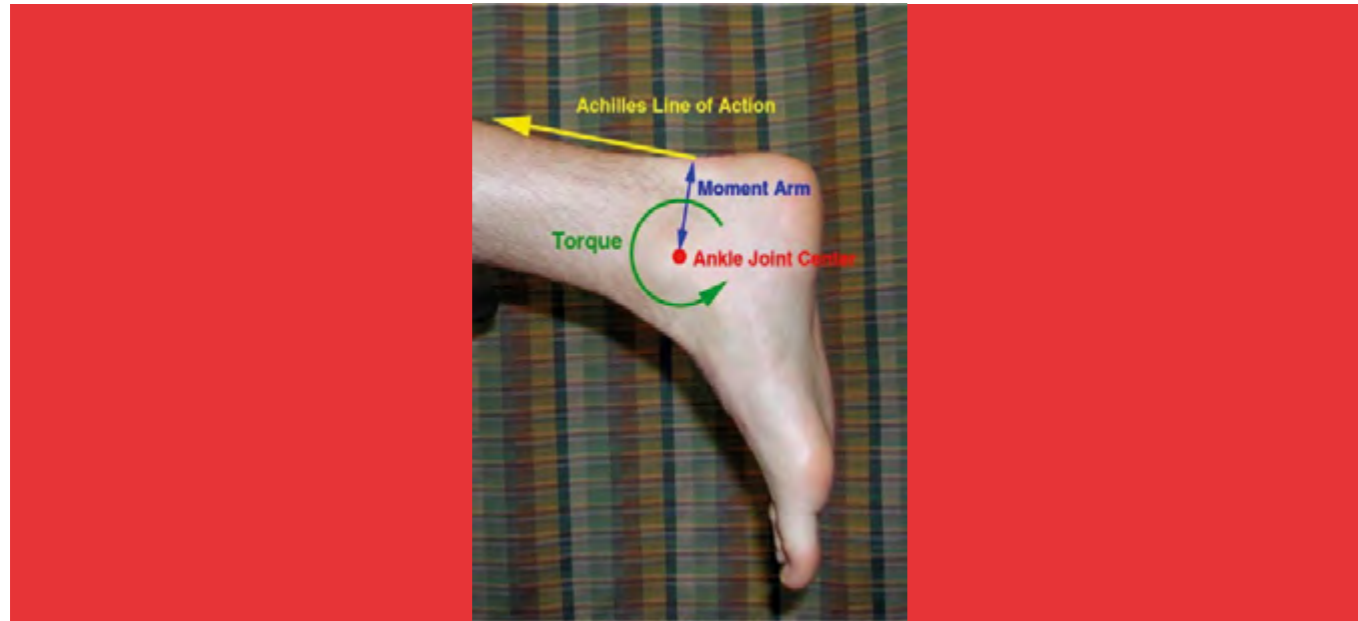


Figura 13 - Momento interno del tendine

La forza del tendine d'Achille (AT, N) è stata stimata frame by frame dividendo il momento netto alla caviglia per il braccio di leva interno (AT IMA). La velocità di accorciamento/allungamento del tendine ( $m \cdot s^{-1}$ ) è stata calcolata come derivata prima dello spostamento durante l'intera fase di appoggio, mentre la potenza meccanica ( $W \cdot kg^{-1}$ ) è stata ottenuta moltiplicando la forza per la velocità nello stesso intervallo. I valori medi di forza, velocità e potenza del tendine sono stati calcolati separatamente per la fase di assorbimento (dall'inizio dell'appoggio fino all'inizio della propulsione) e per la fase propulsiva (dal momento in cui la forza antero-posteriore diventa positiva fino all'inizio della fase di volo). L'insieme di parametri calcolati è riportato in Tabella 2 e in Tabella 3.



Sofia Frigerio, Coppa Europa lanci, Nicosia 2026

### ANALISI STATISTICA

I dati sono riportati come media e deviazione standard. Per valutare le possibili differenze nei parametri di forza, velocità e potenza dell'AT, nelle varie condizioni sperimentali è stata effettuata un'analisi ANOVA a due vie (fattore "velocità" e fattore "fase": assorbimento o propulsiva), con correzione di Bonferroni. L'analisi statistica è stata condotta tramite il software SPSS (versione 23 per Windows), con livello di significatività (p) pari a 0.05.

Soggetto	Prova	At_force (n/kg)	T_moment_ (n/kg-m)	At_arm (cm)	AT_TOTfilt (N/kg)	Ankle-AngleX (°)	Ankle-AngleY (°)	Ankle-AngleZ (°)	Ankle-PowerX (W/kg)	Ankle-PowerY (W/kg)	Ankle-PowerZ (W/kg)	Knee AngleX (°)	Knee AngleY (°)	Knee AngleZ (°)
SI	SLOW3	37,13	1,71	45,90	266,74	21,67	4,40	-17,44	1,61	0,02	0,24	68,00	-4,29	14,04
SI	SLOW4	27,54	1,57	56,51	258,14	14,64	6,61	-24,02	1,55	0,04	0,17	69,68	-3,56	18,09
SI	SLOW5	44,05	1,35	30,79	283,35	22,46	4,87	-18,91	1,78	-0,03	0,24	61,75	-4,00	12,85
SI	MEDIUM2	30,98	1,50	47,67	263,46	13,15	5,54	-20,95	2,46	0,06	0,25	61,94	0,09	14,59
SI	MEDIUM3	35,72	1,87	52,19	256,62	14,94	4,60	-18,10	2,13	0,05	0,18	62,41	-2,34	15,61
SI	MEDIUM4	34,91	1,65	46,48	261,76	14,69	6,66	-24,18	2,67	0,06	0,40	59,94	2,02	13,77
SI	FAST3	43,08	1,82	41,39	265,85	14,02	5,90	-21,96	3,08	-0,04	0,41	61,13	2,74	13,50

Tabella 2 - Parametri calcolati in questo studio (I)

Knee AngleX (°)	Knee AngleY (°)	Knee AngleZ (°)	Knee-PowerX (W/Kg)	Knee-PowerY (W/Kg)	Knee-PowerZ (W/Kg)	GRFX (N/kg)	GRFY (N/kg)	GRFZ (N/kg)	AT_FORCE_FINALE (N/kg)	AT_VELOCITY_FINALE (m/s)	AT_POWER_FINALE (W/Kg)
68,00	-4,29	14,04	2,03	0,16	0,02	0,05	-5,37	10,86	37,13	-0,07	1,30
69,68	-3,56	18,09	1,81	0,05	-0,02	0,31	-5,40	10,41	27,54	-0,08	1,50
61,75	-4,00	12,85	1,67	0,03	0,03	0,50	-4,95	9,20	44,05	-0,12	3,34
61,94	0,09	14,59	2,29	0,16	-0,02	0,08	-6,21	10,70	30,98	-0,12	2,93
62,41	-2,34	15,61	1,55	0,12	-0,05	-0,74	-5,64	11,02	35,72	-0,09	2,81
59,94	2,02	13,77	2,36	0,22	-0,07	0,06	-6,19	10,34	34,91	-0,13	3,08
61,13	2,74	13,50	2,44	0,15	-0,01	0,11	-7,00	10,74	43,08	-0,16	5,12

Tabella 3 - Parametri calcolati in questo studio (II) In rosso, nello specifico, sono evidenziati i parametri da noi analizzati

### RISULTATI

Nei grafici che seguono sono rappresentati: in arancione, i dati (medi) relativi alla fase di assorbimento; in blu, i dati relativi alla fase propulsiva; mentre le barre indicano la deviazione standard. Ogni coppia di colonne si riferisce alle diverse velocità della navetta. Le velocità di navetta erano simili a quelle target e corrispondevano a:

- Slow:  $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- Medium:  $9.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- Fast:  $11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

I valori relativi alla forza generata a livello dell'AT sono riportati in Figura 14. Mentre la AT force nella fase di assorbimento rimane pressoché costante, nella fase propulsiva tende ad aumentare con la velocità della navetta.

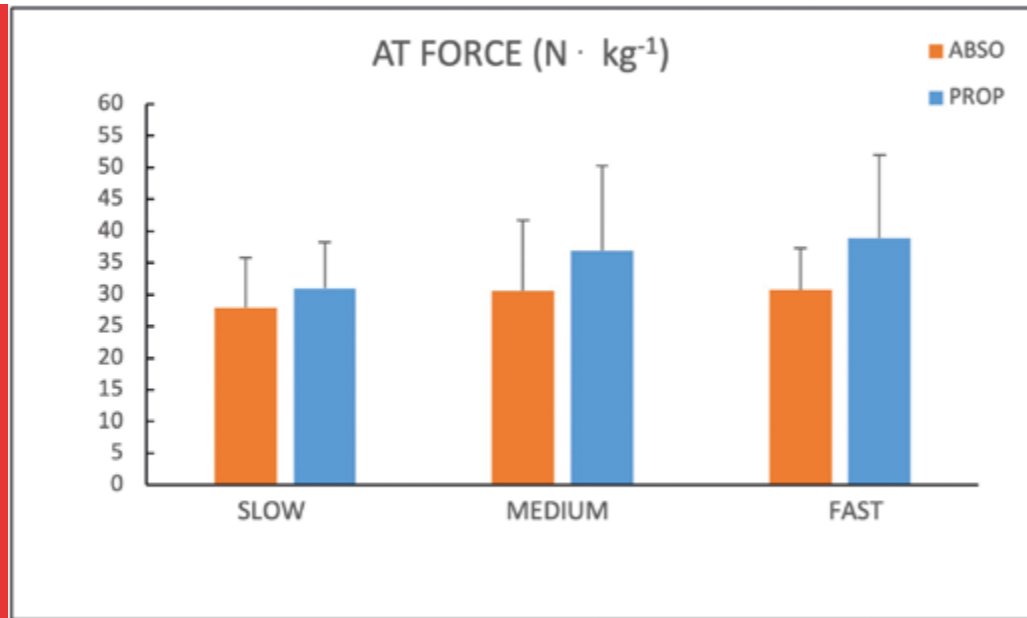


Figura 14 - Forza generata a livello dell'AT

I valori relativi alla velocità di accorciamento/allungamento dell'AT sono riportati in Figura 15. Mentre la AT velocity (di allungamento) nella fase di assorbimento rimane pressoché costante, nella fase propulsiva questa tende ad aumentare con la velocità della navetta.

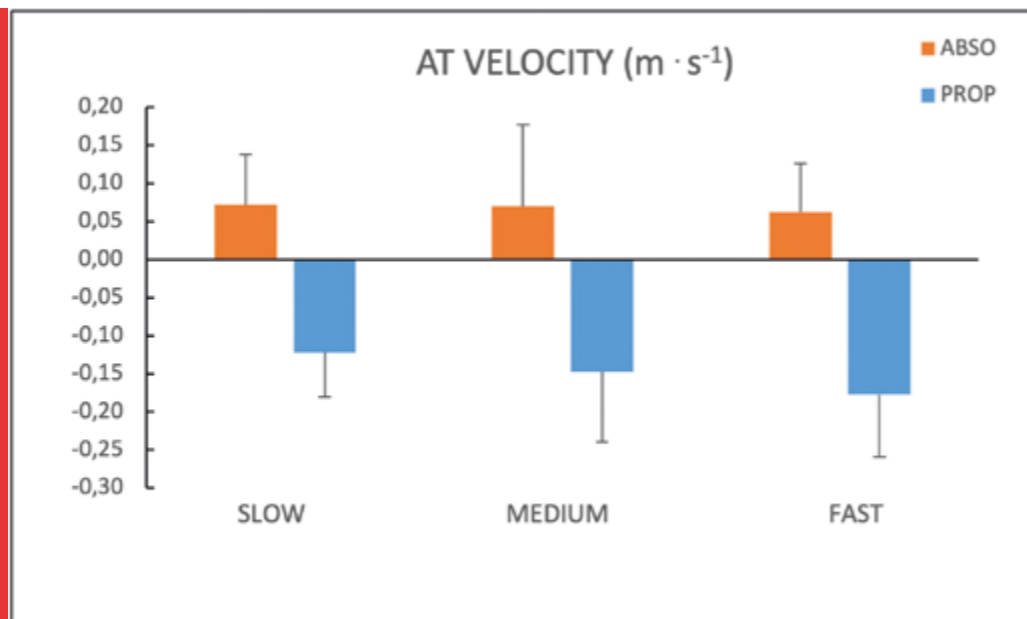


Figura 15 - Potenza assorbita/generata a livello dell'AT

I valori relativi alla potenza generata a livello dell'AT sono riportati in Figura 16. In particolare, la AT power nella fase di assorbimento (valori negativi) non presenta grandi variazioni e rimane pressoché costante; nella fase propulsiva tende ad aumentare con la velocità della navetta.

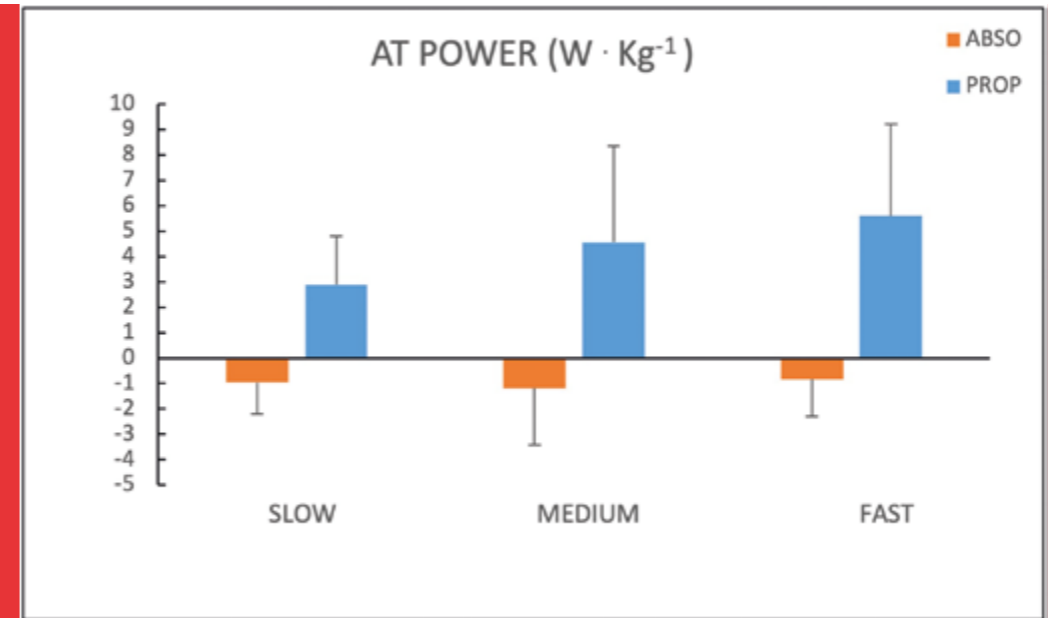


Figura 16 - Potenza assorbita/generata a livello dell'AT

I risultati dell'analisi statistica (ANOVA 2 vie) sono riportati in Tabella 4. L'analisi statistica non ha rilevato nessuna differenza significativa nei tre parametri investigati e nelle due fasi, a parte nel caso della AT force durante la fase propulsiva. I test post hoc evidenziano che questa differenza dipende dai valori di forza nelle due velocità estreme.

		MAIN effect	slow vs. medium	slow vs. fast	medium vs. fast
Abso	AT force	NS	NS	NS	NS
	AT velocity	NS	NS	NS	NS
	AT power	NS	NS	NS	NS
Prop	AT force	0.049	NS	0.044	NS
	AT velocity	NS	NS	NS	NS
	AT power	NS	NS	NS	NS

Tabella 4 - Risultati del test ANOVA

### DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

In questo studio è stato analizzato il comportamento dell'AT durante un CoD a 180°, focalizzandosi su forza, velocità e potenza del tendine. I dati mostrano che, nella fase di assorbimento, il tendine non modula il suo comportamento al variare della velocità: la potenza assorbita rimane costante, suggerendo che la regolazione della frenata non avvenga a livello della caviglia, ma possa coinvolgere principalmente ginocchio e anca. Nella fase propulsiva, invece, il tendine agisce come amplificatore di potenza, aumentando la produzione in funzione della velocità del compito motorio. Questo indica che, per comprendere come la potenza viene assorbita e generata durante i CoD, è necessario considerare la dinamica di tutte e tre le articolazioni dell'arto inferiore più che il comportamento del solo tendine, che non sembra critico nell'assorbimento della potenza negativa durante la frenata.

Non essendoci dati sul comportamento meccanico dell'AT durante CoD, i risultati sono stati confrontati con quelli di Monte et al. (2022) (riportati in Tabella 5) sulla corsa lineare a velocità prossime a quella dello studio (7.5-8.5 km·h<sup>-1</sup>), riferiti alla fase propulsiva:

- Forza AT: nella corsa lineare, 20.80 ± 1.50 N·kg<sup>-1</sup> e 21.70 ± 1.69 N·kg<sup>-1</sup>; nella corsa a navetta a 8.5 km·h<sup>-1</sup> (CoD) 31.01 ± 7.3 N·kg<sup>-1</sup>, significativamente più alta. Questo può riflettere una minore restituzione elastica durante il CoD, richiedendo maggiore forza al tendine.
- Velocità di allungamento AT (fase propulsiva): corsa lineare 0.166 ± 0.009 m·s<sup>-1</sup> e 0.165 ± 0.010 m·s<sup>-1</sup>; CoD a 8 km·h<sup>-1</sup> 0.122 ± 0.058 m·s<sup>-1</sup>. Contrariamente alla corsa lineare, la velocità del tendine nella navetta è influenzata dalla velocità della prova.

- Potenza AT: corsa lineare  $3.45 \pm 0.54 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$  e  $3.57 \pm 0.57 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; CoD  $2.88 \pm 1.91 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ . La comparazione è limitata dall'alta deviazione standard nella navetta.

Attività & Velocità	Duty Factor (%)	Ankle Dorsi-flexion (°)	Ankle Plantar-flexion (°)	Ankle Moment (Nm)	AT Velocity (cm/s)	MTU Velocity (cm/s)	AT Force (N)	AT Power (W)	MTU Power (W)
<b>Walking</b>									
5.5 km/h	56±4	9.8±2.6	5.4±2.3	0.65±0.22	3.87±0.42	6.56±0.33	1275±96	49.4±20	83.7±27
6.5 km/h	55±3	9.9±2.7	6.3±3.3	0.71±0.25	4.9±0.31	7.91±0.35	1327±101	65.2±24	105.3±30
7.5 km/h	55±4	10.2±2.8	7.3±3.1	0.76±0.31	7.73±0.42	13.3±0.76	1247±109	96.4±25	166.1±32
8.5 km/h	54±3	11.2±3.2	8.8±3.5	0.83±0.29	9.84±0.42	17.9±0.72	1234±106	121.4±27	220.8±37
<b>Running</b>									
5.5 km/h	35±3	15.3±4.3	16.5±4.8	1.98±1.01	15.5±0.84	25.5±1.23	1127±96	174.9±30	286.8±36
6.5 km/h	36±4	16.2±3.6	16.9±5.1	2.32±1.11	16.5±0.93	26.7±1.34	1211±103	199.6±32	323.3±33
7.5 km/h	35±4	17.4±4.1	17.7±4.9	2.45±1.03	16.6±0.87	26.4±1.44	1356±98	224.8±35	357.4±37
8.5 km/h	37±4	17.9±4.0	18.1±5.2	2.77±1.13	16.5±0.99	25.5±1.56	1415±110	232.9±37	360.9±38

Tabella 5 - Risultati dello studio di A. Monte (2022)

Concludendo, nella fase di assorbimento, la forza, la velocità e la potenza dell'AT rimangono costanti al variare della velocità della navetta, suggerendo che il tendine non moduli il comportamento durante la decelerazione. Al contrario, nella fase propulsiva, il tendine aumenta la forza, la velocità e la potenza in funzione della velocità del compito motorio, sebbene solo la forza mostri differenze statisticamente significative. I limiti dello studio possono essere attribuiti al numero ridotto di soggetti e alla variabilità delle condizioni sperimentali, in particolare alla difficoltà dei partecipanti di seguire con precisione la velocità più lenta della navetta.

#### BIBLIOGRAFIA

- Andrews J.R., McLeod W.D., Ward T., Howard K. (1977). The Cutting Mechanism. *Journal Sports Medicine*, 5: 111-121.
- Doral, M. N., Alam, M., Bozkurt, M., Turhan, E., Atay, O. A., Dönmez, G., & Maffulli, N. (2010). Functional anatomy of the Achilles tendon. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 18(5), 638-643.
- Monte, A., Nardello, F., Magris, R., Tecchio, P., & Zamparo, P. (2021). The influence of in vivo mechanical behaviour of the Achilles tendon on the mechanics, energetics and apparent efficiency of bouncing gaits. *The Journal of experimental biology*, 224(16), jeb242453.
- Monte, A., Tecchio, P., Nardello, F., & Zamparo, P. (2022). Achilles Tendon Mechanical Behavior and Ankle Joint Function at the Walk-to-Run Transition. *Biology*, 11(6): 912.
- Roberts, T. J., & Azizi, E. (2011). Flexible mechanisms: the diverse roles of biological springs in vertebrate movement. *The Journal of experimental biology*, 214(Pt 3), 353-361.



Staffetta azzurra femminile, World Relays, Gaborone 2026



# TEORIA DEL CAOS ED ELEMENTI ALLENANTI: UNA VISIONE “ALTERNATIVA”

## Antonio Dotti

Tecnico benemerito, laurea in Scienze e Tecniche delle Attività Fisiche e Sportive - Università di Lione (Francia). Allenatore specialista benemerito. In coppia con Ezio Madonia ha allenato la ex primatista italiana e atleta olimpica Luminosa Bogliolo.

## Ida Nicolini

Tecnico benemerito, laurea in Scienze motorie e pedagogia presso l'Università di Firenze, specialista velocità e ostacoli. Ha collaborato a lungo con il prof. Vittori, allenando diversi atleti che hanno partecipato negli anni alle Olimpiadi.

## Franco Casarotti

Allenatore, specializzato in analisi posturale ed osteopatia, si occupa di riabilitazione post traumatica. Attualmente segue alcuni ostacolisti di caratura nazionale.

Una fase di allenamento  
allo Stadio dei Marmi di Roma

La teoria dell'allenamento sportivo ha vissuto per decenni all'ombra di un paradigma rassicurante: più si pianifica, più si misura, più si migliora. Eppure, chiunque abbia trascorso anni su una pista di atletica sa che la realtà degli adattamenti è ben più sfuggente di qualsiasi schema periodizzato. Con questo lavoro, Dotti, Nicolini e Casarotti, tre tecnici con una lunga esperienza di campo, propongono una visione alternativa, attingendo a un concetto insolito per la letteratura sportiva: la teoria del caos. Muovendo dalla critica ai modelli tradizionali di periodizzazione, da Matveyev in poi, e passando per la teoria dei sistemi dinamici, gli autori argomentano che l'adattamento atleti-

co non è il prodotto lineare di stimoli e risposte prevedibili, ma il risultato di un sistema complesso, sensibile alle condizioni iniziali, dove anche le variabili apparentemente marginali possono risultare decisive. In questo quadro si iscrive la teoria dei marginal gains, resa celebre dal ciclismo d'alto livello e qui riletta in chiave atletica: piccoli miglioramenti dell'1% in aree diverse si sommano in modo non lineare, generando progressi che nessun modello riduzionistico saprebbe prevedere. Un contributo che invita allenatori e ricercatori a riflettere su un cambio di prospettiva.

Federico Pasquali

*“La teoria dell'allenamento non è ancora una scienza esatta ma piuttosto un sistema di lavoro che fluttua in un mare di certezze scientifiche e vecchie tradizioni” F. Bosch*

Concetto di caos secondo la mitologia greca: stato primordiale, un vuoto da cui emergono tutte le cose. La problematica più rilevante della teoria dell'allenamento è da sempre costituita dalla sua non esatta determinazione delle modificazioni interne prodotte dallo stimolo allenante esterno, che, essendo individuale, non può essere associato a risposte di tipo statistico ma solamente a risposte personalizzate.

In passato si ipotizzava che il miglioramento motorio seguisse un processo lineare e che il miglioramento della performance fosse proporzionale alla quantità degli stimoli, per cui ci si aspettava dagli allenamenti proposti un miglioramento superiore a quanto si potesse effettivamente ottenere.

Per lungo tempo l'approccio sistematico ha guidato la programmazione degli allenamenti e ha trovato la sua espressione nella metodologia di allenamento tradizionale: una struttura in “blocchi” separati per le diverse capacità, fisica, tecnica, tattica e a cascata, ognuna nelle proprie componenti.

Lo sviluppo indipendente di ciascuna area, non privo di efficacia se il problema è circoscritto ad un particolare aspetto motorio (ad es. sulla forza), si rivela tuttavia sempre meno adeguato all'aumentare della complessità della prestazione motoria.

La sicurezza derivante dai concetti come volume (km percorsi, kg sollevati, numero di ripetizioni, ecc.), intensità (soglie di vario genere), densità (variazioni delle fasi di recupero) non ci ha ancora permesso, in modo rigorosamente scientifico, di esprimere aspetti predittivi del lavoro e degli adattamenti (che sono la risultante dell'allenamento).

Per cui la teoria dell'allenamento che ci arriva da Matveyev in poi (e cioè tutti i modelli della perio-

dizzazione), è da mettere in discussione, poiché gli aspetti da prendere in considerazione non sono scientificamente giustificati. Il risultato di tutto ciò è che l'adattamento e il raggiungimento del successo prestativo si determina in maniera più o meno incidentale (casuale) e imprevedibile, poiché non si tende a considerare anche gli elementi secondari dell'allenamento (“Marginal Gains” o “teoria dell'1%”), che invece hanno una loro influenza sugli effetti dell'allenamento (Kiely, 2011).

Da queste considerazioni nasce la **Teoria Riduzionistica**, che si concentra sulla scomposizione dei fenomeni sportivi in elementi più semplici (fisiologici, biomeccanici, psicologici), per comprendere e ottimizzare la prestazione (anche se in questo modo si rischia di perdere di vista l'atleta nella sua interezza). Pertanto le evidenze che dovrebbero dimostrare l'efficacia della periodizzazione sono estremamente limitate, per cui l'ipotesi della realizzazione prestativa risulta con questi sistemi estremamente aleatoria.

In contrasto con questa teoria si è affermata quella dei **Sistemi Dinamici**, la quale postula che utilizzando sistemi differenti questi interagiscono in maniera particolarmente articolata tra di loro, dando origine a risposte dell'allenamento inaspettate. L'atleta viene visto come un sistema complesso che si auto-organizza; vi è in maniera continua un flusso di influenze reciproche tra ambiente, movimento, percezione, in modo da superare l'idea di una semplice, anche se partecipativa, esecuzione meccanica.

Questo approccio si traduce in metodi di allenamento come l'*apprendimento differenziale* (che introduce variabilità e complessità negli esercizi per favorire l'adattamento) e con un approccio basato sui vincoli (*Constraints-Led Approach*), in cui regole, spazi e attrezzi vengono utilizzati per stimolare nuove azioni motorie specifiche che hanno come finalità atleti più tenaci e versatili.

Un allenamento così organizzato ridurrebbe sensibilmente il valore predittivo del concetto riduzionistico, e porta a far pensare ad un sistema con comportamento caotico.

### TEORIA DEL CAOS

La teoria del caos è una branca della fisica e della matematica che studia sistemi dinamici deterministici (governati da leggi precise) che mostrano un comportamento apparentemente casuale per la loro estrema sensibilità alle condizioni iniziali: una piccola variazione di partenza può portare a risultati drasticamente diversi nel tempo, e pur rendendo impossibili le previsioni a lungo termine rivelano nei modelli sottostanti cicli e strutture ricorrenti.

#### Origine

Il meteorologo Edward Lorenz, negli anni '60, scoprì questo fenomeno per caso, usando un calcolatore per le previsioni meteo e notando che piccole approssimazioni nei dati iniziali producevano risultati finali completamente diversi. Tutto questo fu definito effetto farfalla.

#### Cos'è l'effetto farfalla?

1. "Una farfalla sbatte le ali in Brasile dando inizio a una serie di fenomeni causa-effetto che si amplificano nel corso del tempo fino a generare un ciclone negli Stati Uniti qualche mese dopo".
2. L'idea originale postula che un piccolo cambiamento (come il battito d'ali di una farfalla) nelle condizioni iniziali di un sistema dinamico possa influenzare eventi futuri. In altri termini, infinite variazioni nelle condizioni iniziali producono variazioni grandi e crescenti nel comportamento successivo dei suddetti sistemi.
3. Non esiste una proporzione causa-effetto, ma attraverso piccole perturbazioni si realizzano grandi conseguenze.

In sintesi, la teoria del caos non è lo studio della casualità pura, ma l'analisi di sistemi complessi dove l'ordine e il disordine si fondono, rivelando schemi prevedibili solo su brevi periodi ma impossibili da prevedere nel lungo termine.

Attenzione però: per una parte di scienziati la teoria del caos è un campo promettente del sapere, altri scienziati invece la considerano una teoria sopravvalutata, pur considerandola un campo di interessante speculazione.

#### Principi e applicazioni in atletica leggera

La teoria del caos si applica all'atletica leggera principalmente per comprendere l'imprevedibilità di alcuni eventi e la necessità di gestire gli imprevisti in gara, piuttosto che come strumento di previsione esatta.

- Un sistema caotico, pur essendo deterministico è estremamente sensibile a piccole variazioni delle condizioni iniziali, portando a risultati a lungo termine molto diversi. Nell'atletica, questo potrebbe manifestarsi nel superamento di una minuscola imprecisione tecnica (come una miglior interconnessione inter ed intra muscolare) o in una condizione ambientale (come una folata di vento) che influenza significativamente il risultato finale di una gara.
- La mente umana tende a detestare l'incertezza. La teoria del caos nello sport suggerisce che gli atleti e gli allenatori debbano essere preparati mentalmente a gestire gli imprevisti e ad adattarsi in tempo reale, poiché non sempre le cose vanno come pianificato. Ne risulta che anche la singola seduta di allenamento deve essere gestita e adattata al momento.
- Contrariamente alla casualità, il caos è considerato un ordine complesso, con dinamiche che rispondono comunque a equazioni matematiche, sebbene molto intricate. Questo implica che, sebbene le prestazioni atletiche possano sembrare casuali o imprevedibili a volte, sono il risultato di una moltitudine di fattori interconnessi che possono essere studiati e, in parte, compresi.
- Riconoscere la complessità e l'imprevedibilità può portare a un approccio all'allenamento più flessibile e individualizzato, dove non esiste una "verità assoluta" ma un adattamento continuo alle mutevoli condizioni dell'atleta e dell'ambiente competitivo.

In sintesi, la teoria del caos offre una lente per comprendere che, anche con la pianificazione e l'allenamento più meticolosi, l'atletica leggera rimane un campo in cui l'adattabilità e la gestione degli imprevisti sono cruciali per il successo. Assumono perciò un'importanza fondamentale e devono essere visti con una nuova prospettiva quegli elementi che dapprima considerati marginali diventano i possibili motori della prestazione.

Infatti, gli studi più recenti hanno certificato che il miglioramento motorio e l'aumento della maestria tecnica non sono il risultato di un miglioramento lineare in cui tutti i segmenti motori si sovrappongono per il raggiungimento di un'abilità superiore, ma che il cervello interessa abilità apparentemente lontane tra di loro per poi poter giungere ad un movimento tecnicamente più elevato, più preciso, nella perfetta rappresentazione della teoria del caos.

#### "Marginal gains" o "teoria dell'1%"

I marginal gains sono piccoli miglioramenti incrementali, spesso dell'1%, che sommati portano a un miglioramento complessivo e significativo della prestazione. Derivano dall'idea che sia più facile



© Freepik

migliorare tanti piccoli particolari (sonno, nutrizione, ergonomia, igiene) dell'1% ciascuno, generando attraverso l'aggregazione di questi piccoli cambiamenti un considerevole impatto nel tempo, piuttosto che un miglioramento del 100% di un singolo elemento. Se un atleta riesce a migliorare anche solo l'1% in specifiche aree, noterà che la somma di questi piccoli miglioramenti darà come risultato un miglioramento molto più ampio.

#### Come funzionano i marginal gains

- Occorre scomporre tutto ciò che contribuisce alla performance in piccole parti. Queste ultime debbono essere ottimizzate (es. un cuscino diverso che permetta di dormire meglio, gel per massaggi, biomeccanica della corsa, routine notturna).
- La somma di questi miglioramenti marginali (es. 1% al giorno per 365 giorni) porta a un miglioramento esponenziale (circa 37 volte) realizzando di fatto la teoria del caos.

I marginal gains furono perfezionati da Dave Brailsford, un ciclista che alle Olimpiadi di Atene del 2004 conquistò due medaglie d'oro con la squadra del Regno Unito. Com'era potuto succedere che atleti di buon livello si trasformassero in atleti vincitori di medaglie? Poteva mai essere che

alla base di questo successo ci fossero i marginal gains?

Al suo arrivo, Brailsford fece un'analisi di tutti i fattori che potevano arrecare disturbo nell'allenamento e nelle gare della squadra. Un'analisi minuziosa che andava da quanto e cosa si mangiava fino ai giorni di malattia, alle ore di sonno e al tipo di tessuto delle magliette. Una delle prime cose di cui si accorse fu che la squadra tendeva ad ammalarsi di influenza più volte l'anno, specialmente nei momenti vicini alle competizioni che erano state preparate come fase fondamentale della stagione; aspetto più che ovvio essendo quelle situazioni di stress in cui il sistema immunitario va in crisi. Era evidente, tra l'altro, che il primo che si ammalava di influenza contagiava gli altri.

Brailsford, allora, per prima cosa ingaggiò un medico che tenne lezioni pratiche a tutta la squadra su come comportarsi, e uno psicologo che si accompagnava agli atleti nell'imminenza delle gare: il risultato fu che si verificarono solo un paio di casi singoli di atleti che si ammalarono e che vennero isolati per tempo, senza che l'intero team sospendesse gli allenamenti per un mese.

L'utilizzazione dei marginal gains venne perfezionata poi da una squadra ciclistica professionista, il Team Sky-Ineos, che li utilizzò per vincere Tour de France e medaglie olimpiche, migliorando ogni dettaglio, dal design della bici all'alimentazione.

**Esempi pratici**

- Migliorare il sonno con un cuscino e un materasso specifico.
- Ottimizzare la nutrizione e l'integrazione.
- Riscaldare i muscoli in modo più efficiente.
- Imparare le tecniche corrette di lavaggio delle mani per evitare malattie.
- Controllare la salute dentale. È oramai accettato che le carie influenzano direttamente la muscolatura e sono preludio di strappi e contratture.
- Analizzare dati e feedback per perfezionare ogni aspetto.

In pratica, la teoria dei marginal gains sostiene che quando l'atleta arriva a livelli molto elevati della sua prestazione, il miglioramento complessivo è sempre più difficile. I miglioramenti non saranno più a doppia cifra, ma a porzioni dello zero virgola, quindi appunto miglioramenti marginali.

**Come fare**

I marginal gains, essendo molto piccoli e diffusi ovunque, hanno bisogno di una visione complessiva da parte dello staff, dell'atleta e di qualunque cosa circonda l'atleta nelle ventiquattro ore. Ecco che allora a questa "seducente" teoria si sono sommate le critiche degli addetti ai lavori, che hanno asserito in pratica che già svolgere allenamento di high performance in modo scientifico vuol dire occuparsi di tutte le aree, anche extra performance.

In conclusione, sebbene sul piano teorico tutto questo abbia senso, bisogna poi però ricondurre la teoria o le idee alla pratica da campo.

**La teoria delle cose semplici**

Esiste un principio metodologico che si rifà al cosiddetto "rasoio di Occam", attribuito a Guglielmo di Occam, che afferma che tra più ipotesi ugualmente valide per spiegare un fenomeno sia meglio preferire quella più semplice (che coinvolge meno entità, nel nostro caso motorie), riassunto nel motto latino "*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*" (le cose non vanno moltiplicate se non è necessario), ed è fondamentale nel metodo scientifico moderno per la sua "parsimonia".

**Cosa significa?**

- 1) A parità di condizioni, scegliere la teoria che richiede meno assunzioni, cause o enti.
- 2) Eliminare le ipotesi superflue, "tagliandole via" come con un rasoio, per arrivare alla soluzione più essenziale.
- 3) Preferire un modello metodologico semplice piuttosto che uno complesso.

Praticamente è un principio di economia del pensiero che guida alla scelta della spiegazione più concisa e meno complessa, fondamentale per il ragionamento scientifico e filosofico.

Nell'allenamento dell'atletica leggera il rasoio di Occam significa privilegiare la soluzione più semplice ed efficace rispetto a complessità inutili (come attrezzature costose o tecniche eccessivamente elaborate) per concentrarsi su ciò che conta davvero: principi fondamentali, tecnica corretta, densità del lavoro, riposo, in modo tale da ottenere risultati maggiori senza sprecare energia o soldi. Ad esempio, migliorando la manutenzione delle scarpe piuttosto che comprarne altre in continuazione. È applicabile, semplificando il programma, focalizzandosi sui gesti tecnici base e curando i dettagli, perché l'efficacia sportiva si realizza nelle cose semplici.

Applicazioni pratiche nell'atletica:

- a) invece di cercare esercizi complessi, ritornare agli elementi fondamentali: un velocista deve perfezionare il gesto tecnico, non solo fare esercizi che esaltino "la forma esecutiva" (meno apparenza più sostanza) come accade spesso di vedere con atleti che seguono le mode nell'esecuzione, ad esempio della partenza dai blocchi;
- b) la semplicità e la cura della propria attrezzatura sono un elemento fondamentale del successo, non certo il consumismo. Non sono i modelli di scarpe appena messi in commercio che portano ai miglioramenti, ma chi le indossa;
- c) un programma di allenamento non deve essere iper-complicato. E' necessario concentrarsi sui principi chiave come volume, intensità, specificità, realizzati in maniera semplice, senza cioè sovraccaricare contemporaneamente l'atleta di molteplici elementi;
- d) l'importanza del riposo e del sonno è un principio semplice ma fondamentale, spesso trascurato, che permette di recuperare allenamenti molto impegnativi;
- e) ogni allenamento viene impostato con finalità fisiologiche e motorie specifiche. Pertanto anche il momento del riscaldamento deve essere specifico per preparare il corpo dell'atleta a rispondere in maniera ottimale alle sollecitazioni delle proposte allenanti in quella determinata seduta.

In sintesi:

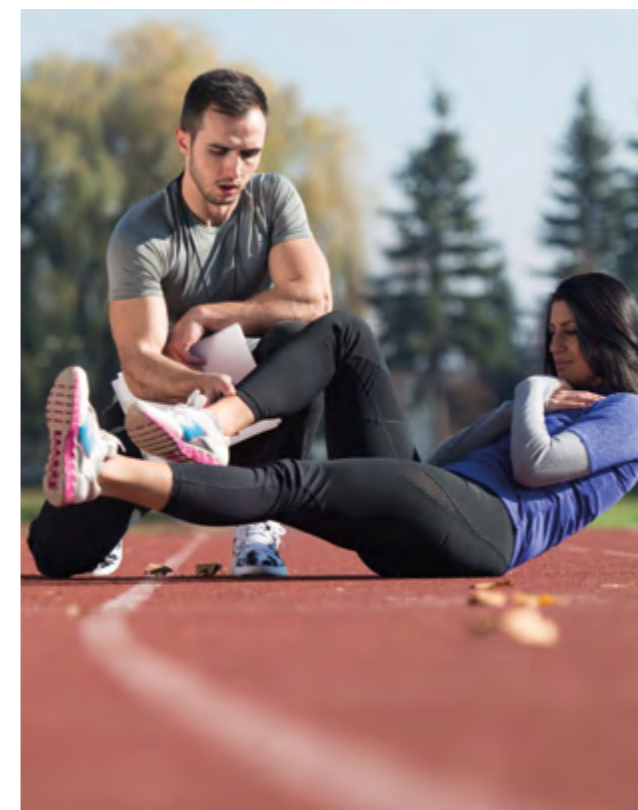
- Ridurre il superfluo: non seguire le mode ma i fondamentali.
- Semplificare i gesti: concentrarsi su tecnica e biomeccanica. Un gesto semplice è sempre più efficace e meno dispendioso.
- Costanza: mantenere alta la qualità degli allenamenti.
- "Meno è meglio" (se fatto bene): ottimizzare ciò che si è raggiunto prima di aggiungere altro; il successo si ottiene "step by step" e non cercando scorciatoie.

Il continuo ricorso a strumentazioni per il miglioramento dei gesti sportivi e per una loro più accurata applicazione per ottenere più rapidamente risultati, ha rivelato in verità notevoli limiti.

La stessa AI si è dimostrata fallace quando rispondendo a una domanda artefatta e priva di fondamento scientifico non ne ha riconosciuto il difetto e ha confezionato una risposta considerandola pertinente. Sicuramente con il tempo queste imperfezioni e limiti verranno appianati, ma per ora il motto deve essere "dubito perché..."; e così anche nell'allenamento in atletica le macchine sono importanti se sono viste come aumento dei mezzi conoscitivi da parte dell'allenatore e non come soluzione dei problemi tecnici. Il compito della macchina è quello di evidenziare il problema, starà poi al tecnico, in base alle sue conoscenze biomeccaniche e pedagogiche, offrire all'atleta la soluzione per un movimento corretto.

Più l'esperienza del tecnico sarà ampia ed efficace, più semplici e facilmente acquisibili saranno le correzioni proposte; l'atleta, attraverso il ricorso ad abilità apparentemente lontane, sollecitate dal sistema nervoso centrale, sarà messo in condizione di raggiungere un movimento esatto e privo di imperfezioni. Anche i macchinari più utilizzati possono essere fuorviati dall'atleta che, con movimenti compensativi, "costringe" le macchine a "considerare" corretto il movimento, cosa che invece non è.

Ad esempio, utilizzando un accelerometro, stabilita



una certa velocità di esecuzione per sviluppare forza esplosiva, se l'atleta anticipa anche impercettibilmente un movimento di spalle e crea un presupposto reattivo, ci sarà come conseguenza una risposta "reattiva esplosiva" e non un momento esplosivo, che era l'obiettivo del tecnico.

Starà al tecnico notare l'anticipazione del movimento e correggerlo. Per cui grande rispetto per il contributo delle macchine, ma come disse Bononcini, eccellente tecnico italiano degli anni '60-'70: "Caro ingegnere, bene le macchine, ma se non ci fosse il mio occhio...".

**CONCLUSIONI**

Le varie applicazioni della teoria di allenamento ad oggi sembrano aver esaurito la spinta propulsiva che porta all'ottenimento di nuovi record e nuove grandi prestazioni. Il recente successo del metodo polarizzato norvegese in realtà non costituisce una novità, piuttosto una riedizione scientificamente più accurata del marathon-training nato in Nuova Zelanda negli anni '50 dello scorso secolo.

Il limite delle varie teorie di allenamento nasce dalla pretesa di avere a che fare con dei metodi allenanti applicati ad un solo atleta, e dall'ipotesi suggestiva, ma non evidence based che, se utilizzati su larga scala potrebbero portare a realizzare risultati per una moltitudine di atleti, mentre in realtà sono il perfezionamento di una teoria applicabile ad un solo, o a pochissimi atleti (Harbig, Snell, Mennea, Ingebrigtsen). E a pagare un prezzo altissimo sono coloro che non possiedono le caratteristiche richieste da quel metodo allenante.

Ultimamente il progresso tecnologico in termini di scarpe, ha fatto sì che la teoria dell'allenamento passasse quasi in secondo piano. Questo progresso "democratico" ha permesso di usufruire della moderna tecnologia su larga scala e quindi l'interrogativo primario è diventato di nuovo "che cosa si può fare per ottenere risultati eccellenti?".

A noi pare che la risposta stia nell'applicazione più attenta dei marginal gains, che secondo la teoria del caos possono essere gli artefici di un'accelerazione prestativa inaspettata.

**BIBLIOGRAFIA**

- Andersen, H: The history of reductionism versus olitic approaches to scientific reserch, Endeavour 2001
- Bosch, Frans: Allenamento della forza e coordinazione. Calzetti & Mariucci 2021
- Kiely, J: Planning for physical performance 2011
- Lorenz, Edward: Deterministic Non periodic Flow 1963
- Schöllhorn W., Hegen I., Patrick: The Non linear Nature of Learning A Differential Learning Approach 2006



# UNA RIVOLUZIONE LENTA. LA SOSTITUZIONE DELLA TECNICA LINEARE CON QUELLA ROTATORIA NEL GETTO DEL PESO OLIMPICO DAL 1970 AD OGGI

Joe Kovacs, Golden Gala,  
Roma 2024

Nel getto del peso, la transizione dalla tecnica lineare a quella rotatoria è stata una delle trasformazioni più lente e affascinanti della storia dell'atletica moderna. Introdotta nei circuiti olimpici da Aleksandr Baryshnikov nel 1976, la tecnica rotatoria ha impiegato quasi cinquant'anni per affermarsi in modo definitivo, e lo ha fatto in modo molto diverso tra uomini e donne, con uno scarto che rimane uno dei misteri tecnici più intriganti della disciplina. Con questo studio, gli autori affrontano in modo sistematico la storia delle finali olimpiche del getto del peso dal 1976 al 2024, analizzando le prestazioni degli otto finalisti per ogni edizione, le tecniche utilizzate, i trend di miglioramento e la variabilità dei risultati tra i generi. I dati con-

fermano ciò che i tecnici intuivano ma non avevano ancora misurato: i finalisti maschi che usano la tecnica rotatoria ottengono prestazioni significativamente superiori rispetto a quelli con tecnica lineare, mentre nel settore femminile il campione è ancora troppo esiguo per conclusioni definitive. Emerge anche un dettaglio prezioso: il progressivo aumento dell'età media dei finalisti olimpici, indice di carriere più lunghe e di una maturazione atletica sempre più tardiva. Un lavoro di storia sportiva e scienza insieme, che restituisce profondità e rigore a una delle evoluzioni tecniche più rilevanti dell'atletica del Novecento.

**Federico Pasquali**

## Franco Merni

MD. Ph.D., già Professore Associato presso il Dipartimento di Scienze per la qualità della vita dell'Università di Bologna. Docente di Teoria e metodologia dell'allenamento, laurea in Scienze Motorie, Università di Bologna. Docente e collaboratore della Scuola dello Sport e della FIDAL, in passato consulente e collaboratore delle squadre nazionali italiane di ciclismo su pista.

## Vincenzo Carandente Pirozzi

MS, laurea in Scienze e tecniche delle attività sportive presso l'Università di Bologna, preparatore atletico e imprenditore.

## Simone Ciacci

Ph.D., MS, Professore associato presso il Dipartimento di Scienze per la qualità della vita dell'Università di Bologna, docente titolare dei corsi sugli Sport Individuali alle lauree di base e magistrali di area Scienze Motorie presso l'Università di Bologna. Già allenatore in atletica leggera e preparatore degli arbitri di calcio di Serie A.

La tecnica del getto del peso, nel corso degli anni, ha mostrato due importanti periodi evolutivi che, oltre a modificare in modo rivoluzionario la tecnica, hanno portato a progressivi e significativi miglioramenti delle prestazioni in generale e dei record mondiali.

La prima rivoluzione fu quella proposta da Parry O'Brien, con la tecnica dorsale, che negli anni '50 riuscì a portare il record mondiale dal suo primo 18 m. del 1953 a 19.30 m. del '59.

Questa tecnica, in seguito, permise a Bill Nieder (1960) di superare i 20 m. e a Randy Matson i 21 m. (1965). Nel 1985, Ulf Timmerman riuscì a superare per primo i 23 m.

Nel frattempo, già dagli anni '50 il tecnico sovietico Viktor Alekseyev (secondo la rivista Yessis Review of Soviet Sport del giugno 1973 citata da Quercetani) aveva iniziato ad insegnare la tecnica rotatoria a giovani lanciatori, portando in seguito

## Antonio Fent

MS, ex atleta presso l'Arma dei Carabinieri e atleta della squadra nazionale italiana di atletica leggera. Referente settore assoluto e giovanile lancio del giavellotto per la Nazionale italiana di atletica leggera. Docente esercitatore presso l'Università Statale di Milano e relatore a numerosi seminari relativi al lancio del giavellotto.

## Sandro Bartolomei

Ph.D., MS, CPO, Assistant professor in tenure track presso il Dipartimento di Scienze per la qualità della vita dell'Università di Bologna, docente titolare di Teoria e metodologia dell'allenamento e preparazione atletica ai corsi di laurea di base e magistrali di area Scienze Motorie dell'Università di Bologna. Già responsabile della preparazione atletica delle squadre nazionali italiane di hockey su prato e collaboratore di altre squadre nazionali italiane. Docente e formatore per altre università straniere e istituti di formazione in ambito sportivo.

Aleksandr Baryshnikov al primo record mondiale di 22 m. esatti con tecnica rotatoria nel 1976. Questo atleta partecipò con tale tecnica già alle Olimpiadi di Monaco (1972), senza però giungere in finale. Fu sempre lui il primo atleta ad arrivare alla finale olimpica con tecnica rotatoria nel 1976, classificandosi 3° con 21 m.

Oltre a questo pioniere è bene ricordare anche lo statunitense Brian Oldfield, che, passando alla tecnica rotatoria da quella dorsale, ottenne nel 1975, in una gara a El Paso mai riconosciuta ufficialmente per il record del mondo, 22.86 m. al sesto lancio. Gli ultimi record mondiali maschili sono stati ottenuti con la tecnica rotatoria da Randy Barnes (23.12 m. nel 1990) e da Ryan Crouser (23.36 m. nel 2021 e 23.56 m. nel 2023).

La tecnica rotatoria fin dalla sua comparsa sul palcoscenico olimpico è stata oggetto di studi biomeccanici in numerosi articoli scientifici, che ne hanno

dimostrato la validità e le caratteristiche biomeccaniche (vedi articoli riportati in bibliografia).

La tecnica rotatoria, stranamente è stata utilizzata molto meno dal settore femminile.

La prima atleta a usarla alle Olimpiadi è stata nel 1984, a Los Angeles, l'americana Carol Therese Cady (settima in finale con 17.23), la quale era stata anche una buona discobola e una delle prime lanciaiatrici di martello americane.

Per trovare il primo titolo olimpico femminile con tecnica rotatoria bisogna arrivare al 2004 ad Atene, dove la cubana Yumileidi Cumba, unica finalista con tecnica rotatoria, vinse con la misura di 19.59. Mentre in campo maschile il primo oro olimpico con tecnica rotatoria fu quello di Eric Randolph Barners ad Atlanta nel 1996, con la misura di 21,62 m.

Solo nell'ultima Olimpiade di Parigi 2024 tutte le tre atlete sul podio hanno usato la tecnica rotatoria, mentre questa è stata utilizzata in campo maschile da tutti gli otto finalisti nelle ultime due Olimpiadi. Si nota perciò un utilizzo delle due tecniche molto diverso nei due generi nel corso degli ultimi cinquanta anni.

Questo lavoro vuole studiare l'evoluzione dell'uso della tecnica rotatoria nelle finali olimpiche di getto del peso, evidenziando le differenze tra le gare maschili e femminili.

Si vuole vedere se ci sono state delle differenze di prestazione tra gli atleti che hanno usato le due tecniche in generale e in ogni singola finale, e il trend delle prestazioni delle due tecniche.

Infine, si cercherà di studiare il trend della variabilità delle prestazioni degli otto finalisti olimpici nell'ultimo mezzo secolo, cioè dal 1974 al 2024, in modo da evidenziare la distanza tra la medaglia d'oro e gli atleti da podio rispetto agli altri finalisti, studiando anche in questo caso le differenze di genere.

## METODI

La ricerca dei dati è stata effettuata prendendo in considerazione i risultati delle gare e in secondo luogo le informazioni relative alle tecniche utilizzate dagli atleti.

I dati e le misure di prestazione degli atleti nelle diverse finali olimpiche, sono stati rilevati dai siti di World Athletics, Olympics e Wikipedia.

Da questi stessi siti è stata ricavata la data di nascita degli atleti al momento dell'Olimpiade, la loro nazionalità e la prestazione in finale.

In seguito, tramite video pubblicati su YouTube e Google immagini, è stata individuata la tecnica usata dagli atleti nelle finali olimpiche prese in esame.

I dati delle prestazioni maschili sono risultati sempre concordanti nei tre siti, mentre per la categoria femminile, in alcune edizioni olimpiche, sono state trovate misure sbagliate, dubbie o risultati con atlete squalificate successivamente.

È stato fatto un lavoro di confronto per correggere le misure sbagliate e le squalifiche delle atlete non confermate presenti nel sito Olympics.com. Nei casi dubbi sono stati usati per le misure anche i video delle finali olimpiche.

I dati sono stati raccolti in tabelle ed elaborati dal punto di vista statistico e grafico con Excel.

## RISULTATI

In primo luogo vengono presi in considerazione i grafici che descrivono con curve smussate il trend delle prestazioni degli otto finalisti, che evidenziano bene le differenze tra il primo classificato (color oro) rispetto agli altri due atleti da podio (color argento e bronzo) e gli altri cinque finalisti (con altri colori).

Nello stesso grafico, in sovrapposizione, vengo inseriti, con dischi degli stessi colori, gli atleti che hanno utilizzato in finale la tecnica rotatoria.

Nella Figura 1 si possono osservare gli andamenti delle prestazioni in metri degli otto partecipanti alle finali nel getto del peso maschile delle Olimpiadi di Montreal 1976 (dove viene registrato il primo lancio con tecnica rotatoria utilizzato da A. Baryshnikov), per arrivare alle Olimpiadi di Tokyo 2020 e Parigi 2024 dove tutti i finalisti maschili hanno usato la tecnica rotatoria (vedi gli otto dischi colorati).

Interessante l'andamento a onda dei dati che evidenziano inizialmente un valore massimo dei primi tre classificati nell'88 a Seul, preceduto da un minimo di prestazione degli ultimi quattro atleti a Los Angeles '84 (mancanza degli atleti dell'est a queste Olimpiadi dovuto al noto boicottaggio). In seguito, il trend della prestazione risulta in calo specialmente per il primo classificato, raggiungendo un minimo ad Atene nel 2004. Nelle ultime quattro Olimpiadi la prestazione di tutti i finalisti risulta in crescita, più evidente per gli atleti da podio.

La crescita delle prestazioni dopo il 2008 sembra coincidere con l'aumento del numero degli atleti che usano la tecnica rotatoria; prima cinque su otto, e infine tutti i finalisti nelle ultime Olimpiadi.

In ogni caso, il primo campione olimpico ad usare la tecnica rotatoria è stato Eric Randolph Barners nel 1996 ad Atlanta.

La differenza di prestazione (cioè la variabilità di prestazione dei finalisti) tra gli uomini da podio e gli altri è più marcata nelle prime quattro Olimpiadi e raggiunge il minimo nel 2004 ad Atene, dove si era visto il minimo di prestazione non solo del campione olimpico, ma anche di tutti gli altri atleti finalisti.

Il trend delle otto finaliste studiate nello stesso periodo (Figura 2, 1976 - 2024) evidenzia degli andamenti in alcuni casi di facile spiegazione. Ad esempio, il minimo valore ottenuto alle Olimpiadi di Los Angeles del 1984 con un'ampia variabilità dei ri-

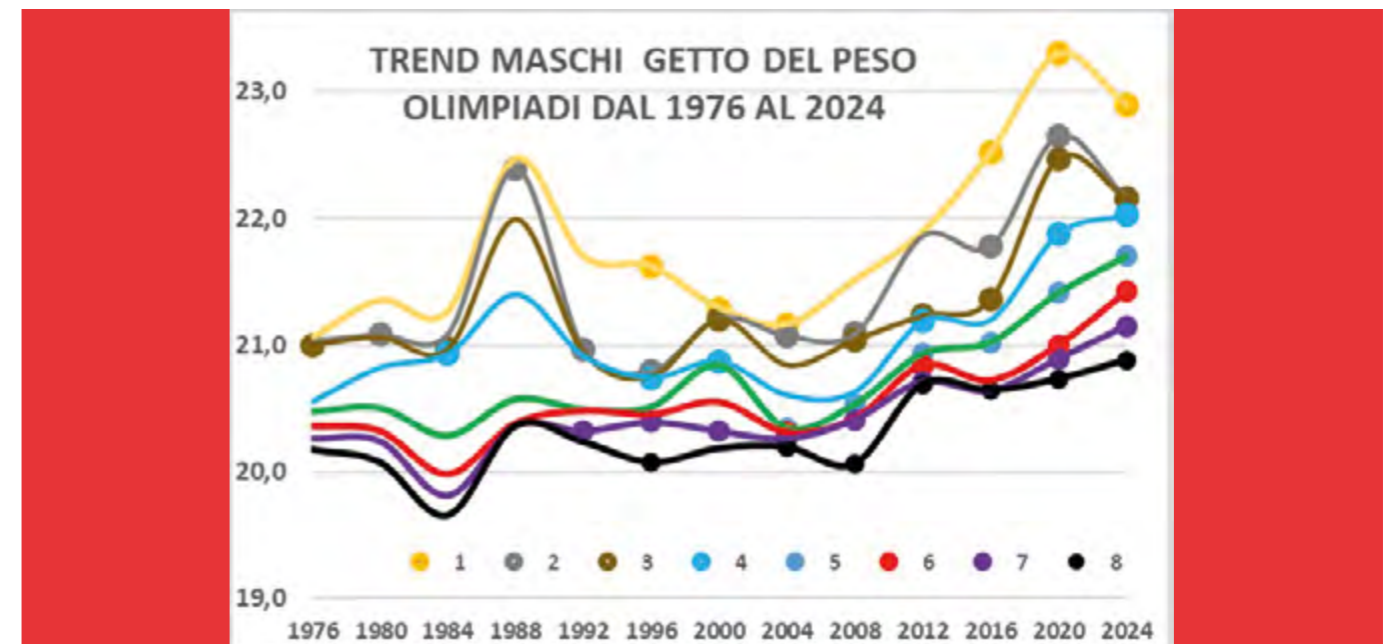


Figura 1. Andamento delle prestazioni dei primi otto atleti classificati ai Giochi olimpici dal 1976 al 2024

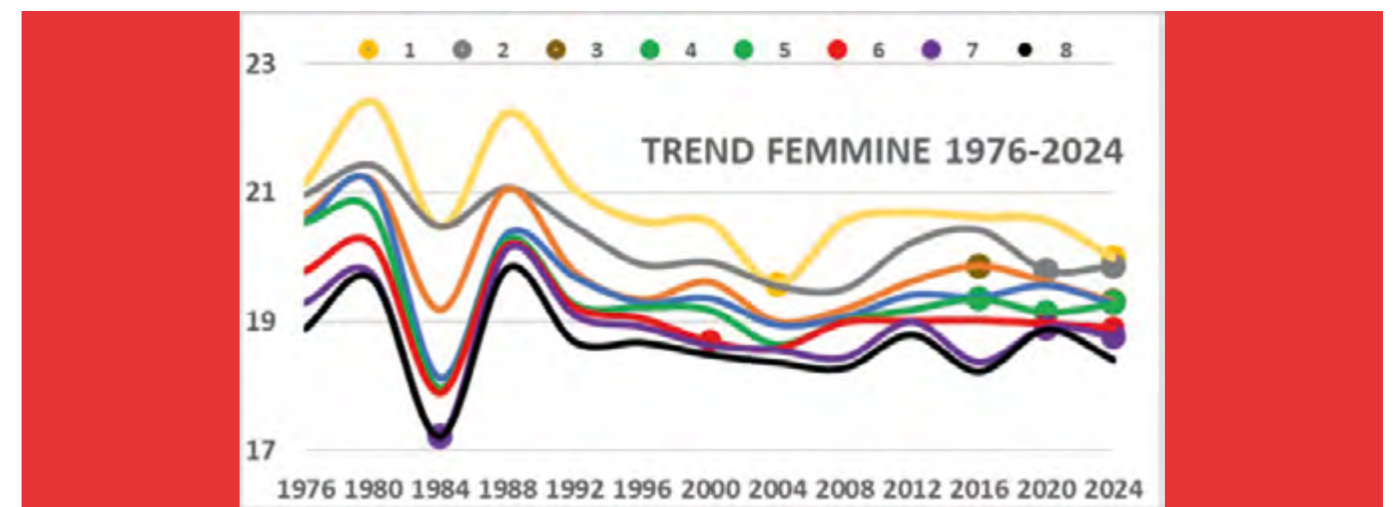


Fig. 2 Andamento delle prestazioni delle prime otto atlete classificate ai Giochi olimpici dal 1976 al 2024

sultati, è senz'altro spiegabile con l'assenza delle atlete dei Paesi dell'est, in possesso delle migliori prestazioni. Il massimo registrato alle Olimpiadi seguenti dell'88 a Seul, già evidenziato nei maschi, mostra anche nel caso delle atlete differenze elevate nella prestazione tra le donne da podio e le altre finaliste.

In ogni caso le vincitrici sono quasi sempre decisamente più prestanti delle altre finaliste. Solo in tre Olimpiadi le prime classificate risultano molto vicine alle seconde (1984, 2004, 2024).

Tutte le prestazioni femminili, come quelle maschili, mostrano dopo Seul un trend in calo fino ad Atene, dove si nota anche la minor variabilità delle otto prestazioni.

Nelle ultime cinque Olimpiadi le prestazioni delle atlete migliorano in modo meno evidente rispetto a quelle rilevate nei maschi, con misure che non superano mai i 21 m.

La tecnica rotatoria è usata molto sporadicamente, addirittura solo da una atleta alle Olimpiadi del 1984, 2000, 2004 (prima medaglia d'oro con tecnica rotatoria).

Solo nelle ultime due Olimpiadi il numero delle atlete con tecnica rotatoria pareggia quelle con tecnica lineare.

Per verificare se la tecnica rotatoria utilizzata negli ultimi cinquanta anni abbia portato a prestazioni significativamente migliori rispetto a quella lineare, è stato effettuato un test t tra i valori di tutti i

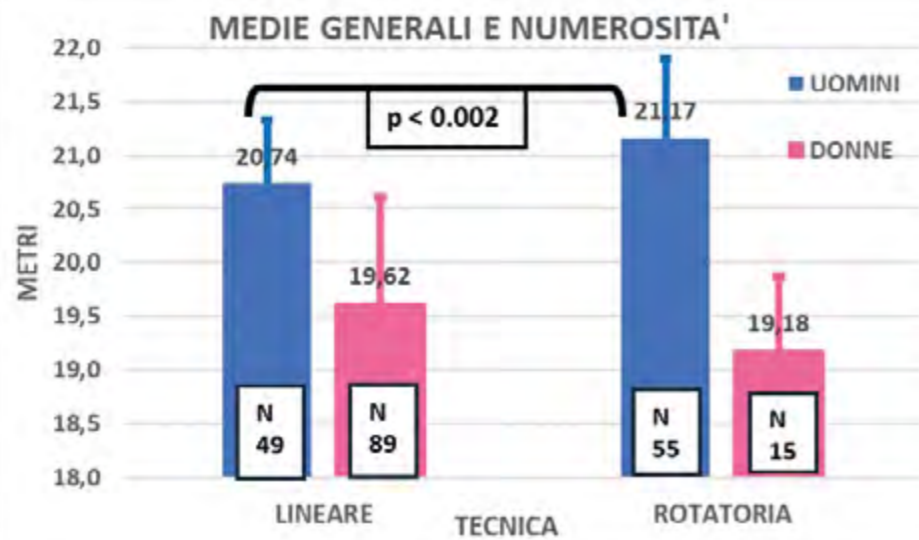


Fig. 3 Differenza di prestazione tra tecnica rotatoria e lineare sui 104 casi registrati, nei rettangoli alla base delle colonne il N atleti con uso della tecnica rotatoria.

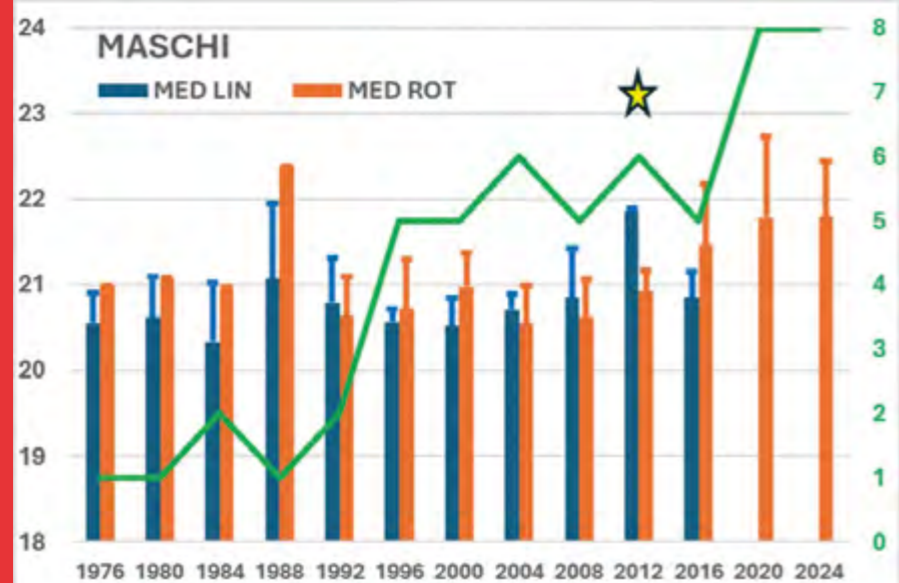


Fig.4 Valori medi e deviazione standard delle prestazioni con tecnica lineare e rotatoria. Se la barra della deviazione standard non compare significa che solo un atleta ha usato la relativa tecnica.

finalisti che hanno usato le due tecniche (Figura 3). I 55 atleti che hanno usato la tecnica rotatoria presentano una prestazione media pari a  $21.17 \pm 0,74$  m., significativamente superiore ( $p < 0,002$ ) a quelli (49) che hanno usato quella lineare, con  $20.74 \pm 0.59$  m.

I maschi che usano la tecnica rotatoria sono significativamente migliori di quelli con tecnica lineare, con una variabilità (DS) maggiore rispetto ai 49 con uso della lineare.

Le femmine che in cinquanta anni hanno usato la tecnica rotatoria sono state molto meno rispetto

a quelle con tecnica lineare (15 contro 89) e perciò mostrano prestazioni minori (differenze non significative  $p=0,10$ ) anche se la tecnica rotatoria è stata usata prevalentemente solo nelle ultime Olimpiadi.

Per effettuare uno studio più preciso delle prestazioni per ogni Olimpiade, vengono rappresentati con un grafico a colonne i valori medi dei lanci effettuati con le due tecniche.

I valori medi nei lanci con tecnica lineare e rotatoria sono rappresentati con colonne di colore diverso (Figura 4).

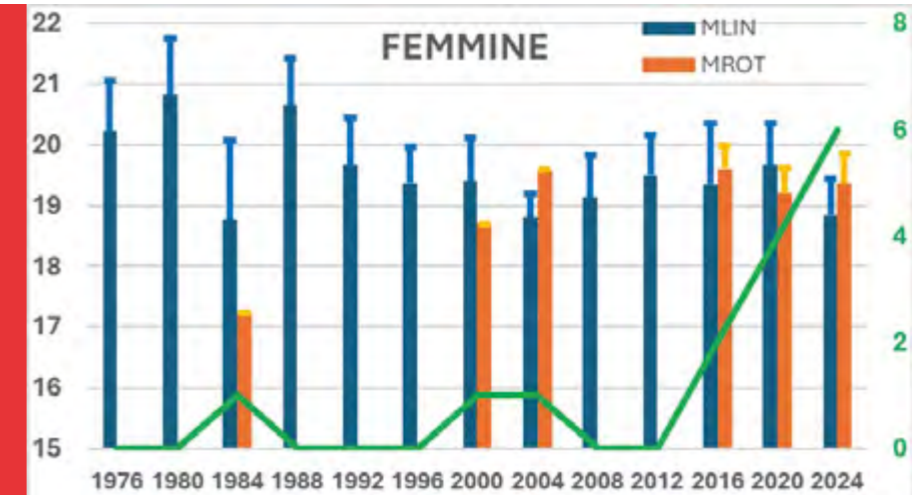


Fig.5 Differenze fra tecnica rotatoria e lineare nelle donne alle edizioni dei Giochi olimpici dal 1976 al 2024.



Fig. 6. Prestazione del primo e dell'ottavo classificato in ciascuna finale olimpica maschile e femminile, in percentuale del rispettivo record olimpico.

La numerosità degli atleti con uso di tecnica rotatoria è rappresentata con linea verde e con le ordinate a destra. Soltanto dal 1996 in poi la maggioranza dei finalisti ha utilizzato la tecnica rotatoria. In sette Olimpiadi la media delle misure ottenute grazie alla tecnica rotatoria o la singola prestazione sono migliori rispetto a quattro Olimpiadi, in cui risultano superiori le prestazioni fornite dalla tecnica lineare. La differenza a favore di quella lineare nelle singole Olimpiadi è significativa solo a Londra nel 2012 ( $21.9 \pm 0.002$  contro  $20.9 \pm 0.23$  m.), dato che i due atleti meglio classificati hanno ottenuto misure molto vicine tra loro con tecnica lineare. Nelle ultime due Olimpiadi, i concorrenti hanno usato solo la tecnica rotatoria, perciò non è possibile effettuare il confronto. Le differenze tra tecnica rotatoria e lineare nelle

donne (Figura 5) si possono studiare solo nelle ultime tre Olimpiadi, perché in questi casi la numerosità delle atlete con tecnica rotatoria è consistente per un confronto statistico. Le differenze non sono risultate però significative, anche se due prestazioni con tecnica rotatoria sono leggermente superiori nel 2016 e 2024.

Per studiare meglio la variabilità dei risultati nelle finali olimpiche sono stati usati degli indici di prestazione in percentuale rispetto al record olimpico (Figura 6). In questo modo è più semplice il confronto tra le prestazioni per maschi e femmine, e anche quello tra i quadrienni olimpici, come evoluzione della prestazione sia del vincitore che quella dell'ottavo classificato.

Il trend in percentuale della misura ottenuta dal campione olimpico mostra un primo picco nell'88 supe-

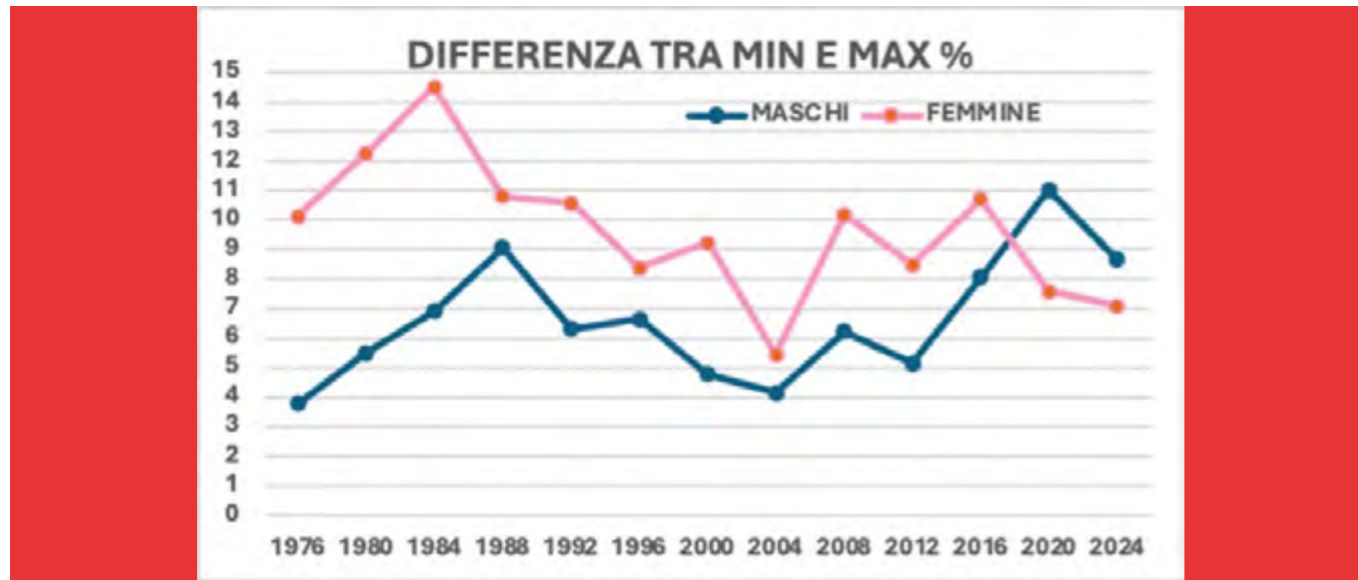


Fig. 7 Differenze fra primo e ottavo classificato nelle finali maschili e femminili nelle diverse edizioni dei Giochi olimpici.

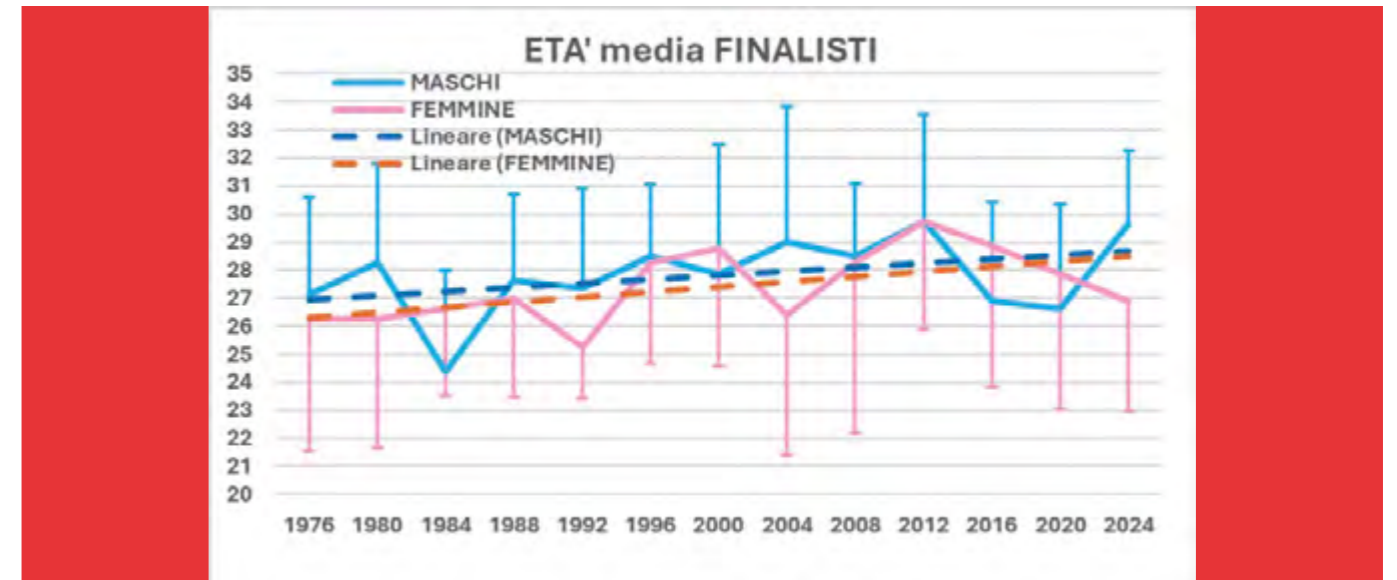


Fig. 8. Età media dei finalisti olimpici nei due sessi e relative rette di regressione.

riore al 96%, un minimo nel 2004 pari al 91%, vicino come valore percentuale a quello del 1976, per raggiungere infine il 100% del record olimpico nel 2020. La prestazione dell'ultimo finalista oscilla tra l'84% e l'86% fino al 2008. Dall'Olimpiade di Londra la prestazione si porta all'88% con un progressivo aumento della differenza tra primo e ottavo classificato. Le differenze percentuali tra vincitore e ottavo risultano minori alle Olimpiadi del 2004. Il trend delle vincitrici olimpiche, in percentuale rispetto al record olimpico, risulta molto diverso da quello degli uomini. Il record olimpico risale alle Olimpiadi di Mosca 1980, ma anche Seul 1988 presenta valori corrispondenti. In seguito, il trend delle vincitrici risulta in calo fino al minimo di 88% rilevato ad Atene 2004, come per gli uomini. Nelle ultime cinque Olimpiadi la prestazione delle campionesse olimpiche però cresce di poco, raggiungendo solo il 92% rispetto al record olimpico di Mosca. Anche il trend dell'ultima finalista presenta lo stesso andamento della vincitrice, con valori più elevati (88%) nel 1980 e 1988, e minimo nel 1984, a causa del boicottaggio dei Paesi dell'est. Nelle Olimpiadi seguenti si nota un trend con piccole oscillazioni tra 82 e 84%, con valori più bassi di quelli maschili. Gli andamenti in percentuale rispetto al record olimpico della 1ª e 8ª concorrente femminile sono più stabili, con l'eccezione delle prime quattro Olimpiadi. Le differenze in percentuale tra vincitore e ultimo finalista sono un indicatore di variabilità della prestazione dei finalisti olimpici. È interessante studiarne il trend diverso tra i due generi, ponendo le due linee spezzate delle differenze nello stesso grafico (Figura 7). La variabilità di prestazione tra finalisti risulta spes-

so più elevata per le femmine (oscillazione tra 5 e 15%) rispetto ai maschi (4 e 11%). Le prime cinque Olimpiadi sono caratterizzate da grosse differenze (oltre il 10%) tra la vincitrice e l'ultima finalista. I maschi evidenziano un primo massimo nella differenza (pari a 9%) a Seul 1988, mentre il secondo massimo dell'11% si rileva a Tokyo. Il minimo di variabilità si riscontra ad Atene 2004 con valori del 4% per i maschi e 5% per le femmine. La variabilità dei maschi è risultata maggiore rispetto a quella delle femmine solo nelle ultime due Olimpiadi. Un ultimo grafico interessante (Figura 8) che può essere messo in relazione con i dati di prestazione è quello dell'età media dei finalisti olimpici. In questo caso è stata calcolata una retta di regressione lineare distinta per i due generi che evidenzia sinteticamente una tendenza simile e in leggera crescita. In cinquant'anni, la media dell'età dei finalisti è passata da 26 (femmine) e 27 (maschi) anni, a una di 28 anni per i due generi. Questo dato può essere spiegato con la necessità di dedicare più anni per raggiungere elevate performance, considerando comunque che in senso assoluto la carriera degli atleti olimpici si è leggermente allungata. I due minimi per maschi (1984 e tra 2016 e 2020) e i tre per le femmine (1992, 2004, 2024) corrispondono a dei momenti di cambio generazionale con riduzione dell'età media da un'Olimpiade all'altra. L'Olimpiade che presenta i dati di età massima degli atleti partecipanti (esempio 29 anni nel 2012), di solito precede quella che invece mostra il dato minimo di anzianità, a volte osservabile già nell'edizione immediatamente successiva, altre volte invece distribuita su più Olimpiadi, indice di un cambio generazionale più graduale.

## CONCLUSIONI

Il trend delle prestazioni dei finalisti olimpici maschi del getto del peso risulta simile a quello della numerosità degli atleti utilizzando la tecnica rotatoria. Le prestazioni, anche se con una tendenza ondulatoria, che non dipende solo da fattori tecnici, ma anche sociopolitici (come i boicottaggi), è andato in crescendo di pari passo al numero sempre più elevato di atleti che usavano la tecnica rotatoria. I 55 finalisti su 104 che in cinquant'anni hanno usato la tecnica rotatoria hanno ottenuto risultati significativamente migliori degli altri. Questo fatto però dipende anche dal numero decisamente più elevato di atleti che hanno usato la tecnica rotatoria negli ultimi venticinque anni. Perciò, probabilmente anche la migliore preparazione fisica, specialmente di forza, ha permesso l'incremento della prestazione negli ultimi venti anni. Questo non è avvenuto per le donne, che hanno adottato la tecnica rotatoria più recentemente e mostrano andamenti delle prestazioni molto diversi dai maschi, risentendo nei primi venti anni dei risultati dei Paesi dell'est europeo che ancora oggi vedono come riferimento per il calcolo delle prestazioni relative al record olimpico i 22.41 m. di Ilona Slupianek del 1980 a Mosca, prossimo al record mondiale del 1987 di N. Lisovksya di 22.63 m., vincitrice a Seul nel 1988 con 22.24 m. Questi due risultati sopra i 22 m. spiegano il trend dei risultati delle finaliste olimpiche diversificato rispetto a quello maschile, trend che mostra questi due picchi negli anni '80 e in seguito un calo della prestazione fino al 2004 ad Atene con valori sotto i 20 m. In seguito, le prestazioni delle finaliste sono risultate più stabili tra i 18 e 21 m., senza però l'andamento in crescita rilevato nei maschi.

È difficile spiegare la mancata adozione della tecnica rotatoria da parte della maggioranza delle atlete olimpiche. Infatti, le strutture fisiche più contenute delle atlete e l'attrezzo di 4 Kg, dovrebbero favorire questa tecnica al femminile che permette il raggiungimento di maggiori velocità finali.

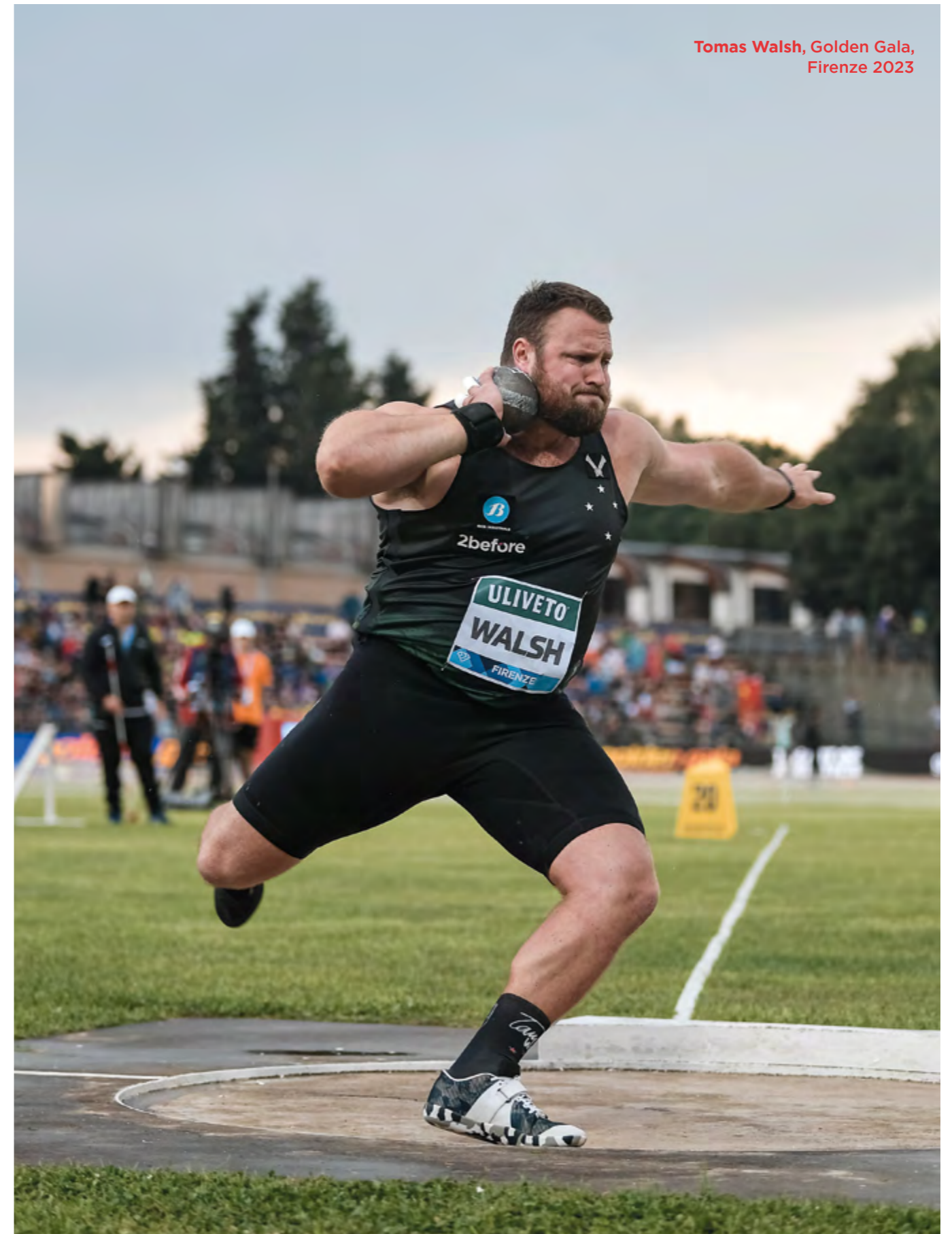
Forse l'apprendimento di tale tecnica è risultato più difficile a livello femminile, o gli allenatori dei settori femminili sono stati più reticenti nel proporre la nuova tecnica.

Il calo delle prestazioni olimpiche dopo il 1988 simile nei due generi è senz'altro imputabile ai controlli antidoping più precisi e frequenti, che hanno portato al dato minimo congiunto delle performance ad Atene nel 2004. In tale Olimpiade si rileva anche una variabilità più ridotta nelle prestazioni, con una differenza più bassa tra il vincitore e l'ultimo finalista pari a 4% nei maschi e 5% nelle femmine. Bisogna tener presente che nel 2000 diviene operativa la World Anti-Doping Agency (WADA) e nel 2004 l'IOC assegna ufficialmente la gestione dell'antidoping alla WADA.

Tali differenze molto ridotte nella variabilità sono imputabili (dal punto di vista statistico) anche ai valori medi di prestazione rilevati ad Atene particolarmente bassi. Sicuramente, però, questo indicatore descrive una situazione più omogenea delle prestazioni maschili e femminili nelle finali olimpiche all'inizio degli anni 2000.

## BIBLIOGRAFIA

- Bartonietz, K.E. Rotational shot put technique: Biomechanical findings and recommendations for training. *Track Field Q. Rev.* 1994, 93, 18-29.
- Byun, K.O.; Fujii, H.; Murakami, M.; Endo, T.; Takesako, H.; Gomi, K.; Tauchi, K. A biomechanical analysis of the men's shot put at the 2007 World Championships in Athletics. *New Stud. Athlet.* 2008, 23, 53-62.
- Carandente Pirozzi Vincenzo. Utilizzo della tecnica lineare e rotatoria nelle finali olimpiche di getto del peso dal 1976 ad oggi. Tesi Università Bologna 2023
- Ciacchi S., Merni F., Semprini G., Drusiani G., Cortesi M., Bartolomei S. Shot Put: Which Role for Kinematic Analysis? *Appl. Sci.* 2022
- Côh, M.; Štuhec, S. 3D kinematics analysis of the rotational shot put technique. *New Stud. Athlet.* 2005, 20, 57-66.
- Côh, M.; Štuhec, S.; Supej, M. Comparative biomechanical analysis of the rotational shot-put technique. *Coll. Antropol.* 2008, 32, 249-256.
- Goss-Sampson, M.A.; Chapman, M. Temporal and kinematic analysis of the rotational shot put technique. *J. Sport Sci.* 2003, 21, 237-238.
- Gutierrez-Davila, M.; Rojas, J.; Campos, J.; Gamez, J.; Encarnacion, A. Biomechanical Analysis of the shot put at the 12th IAAF World Indoor Championships. *New Stud. Athlet.* 2009, 24, 45-61.
- Landolsi, M.; Labiadh, L.; Zarrouk, F.; Maaref, K.; Ghannouchi, S.; Tabka, Z.; Lacouture, P. Kinematic analysis of the shot-put: A method of assessing the mechanical work of the hand action force. *Eur. J. Sport Sci.* 2018, 18, 1208-1216.
- Lipovšek, S.; Škof, B.; Štuhec, S.; Coh, M. Biomechanical Factors of Competitive Success with the Rotational Shot Put Technique. *New Stud. Athlet.* 2011, 26, 101-109.
- Oesterreich, R.; Bartonietz, K.; Goldmann, W. The rotational shot put technique: A development model for young athletes. *New Stud. Athlet.* 1997, 12, 35-40.
- R. L. Quercetani. Uomini e donne Atletica. Storia dell'atletica mondiale dal 1980 ad oggi. Vallardi Editore 2008
- Schaa, W. Biomechanical Analysis of the shot put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Stud. Athlet.* 2010, 25, 9-21.
- Zatsiorsky, V.M.; Lanka, G.E.; Shalmanov, A.A. Biomechanical analysis of shot putting technique. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 1981, 9, 353-389.



Tomas Walsh, Golden Gala, Firenze 2023



Leonardo Fabbri, Golden Gala,  
Roma 2026



200 metri, Campionati italiani indoor Allievi,  
Ancona 2026

## SECONDA PARTE

# IDENTIFICAZIONE DELL'AREA DI SPECIALIZZAZIONE, IN ATLETICA LEGGERA, MEDIANTE L'UTILIZZO DI TEST DI VALUTAZIONE PRESTATIVA NELLE FASCE GIOVANILI

**Edoardo Gnocchi**  
Allenatore FIDAL settore velocità e ostacoli,  
Tecnico Atl. Cairatese e Cus Insubria Varese & Como,  
Laurea magistrale in scienze motorie

**Tutor: Luca Bellini**

Quarantadue giovani atleti delle categorie Allievi e Cadetti, suddivisi per aree di specializzazione, velocità, salti, lanci e mezzofondo, sono i protagonisti di questa seconda parte di uno studio che indaga la relazione tra caratteristiche fisiche, risultati nei test atletici e prestazioni in gara. Sottoposti nel novembre 2024 a una batteria di sei prove, gli atleti hanno restituito un quadro dettagliato e statisticamente rigoroso delle specificità fisiche di ciascuna disciplina. I dati confermano, salvo rare eccezioni, quanto la letteratura internazionale già suggeriva: i lanciatori si distinguono nettamente dagli altri gruppi per massa corporea, BMI e circonferenze muscolari, espressione di una corporatura mesomorfo-endomorfa funzionale alla produzione di forza e potenza. Gli sprin-

ter mostrano invece i valori più elevati nell'indice di forza reattiva (RSI), mentre i mezzofondisti emergono, come atteso, nella prova di resistenza. Particolarmente significative le correlazioni tra punteggio World Athletics e risultati nei test: nei lanci, il massimale di panca piana e il lancio dorsale della palla medica risultano predittori altamente affidabili della prestazione agonistica, soprattutto nel genere femminile. Lo studio apre prospettive concrete per l'orientamento sportivo precoce e la costruzione di protocolli di valutazione differenziati per specialità, strumenti preziosi per tecnici e preparatori che lavorano con le categorie giovanili.

**Federico Pasquali**

## INDICE

### SECONDA PARTE

#### 2. MATERIALI E METODI

##### 2.1 POPOLAZIONE

##### 2.2 PROTOCOLLO SPERIMENTALE

###### 2.2.1 TEST ANTROPOMETRICI

###### 2.2.2 TEST DI BOSCO

###### 2.2.2.1 Squat Jump (SJ)

###### 2.2.2.2 Countermovement Jump (CMJ)

###### 2.2.2.3 Drop Jump (DJ)

###### 2.2.2.4 Reactive Strength Index (RSI)

###### 2.2.3 BALZI TRIPLI ALTERNATI

###### 2.2.4 BALZI QUINTUPLI ALTERNATI

###### 2.2.5 PANCA PIANA

###### 2.2.6 2000 METRI

###### 2.2.7 LANCIO FRONTALE DELLA PALLA MEDICA

###### 2.2.8 LANCIO DORSALE DELLA PALLA MEDICA

##### 2.3 ANALISI STATISTICA

###### 2.3.1 TEST ANOVA A UNA VIA

###### 2.3.2 TEST DI KRUSKAL-WALLIS

###### 2.3.3 TEST DEL COEFFICIENTE DI PEARSON

#### 3. RISULTATI

##### 3.1 RISULTATI ANTROPOMETRICI

##### 3.2 RISULTATI DEI TEST ATLETICI

##### 3.3 DIFFERENZE ANTROPOMETRICHE TRA GRUPPI

##### 3.4 DIFFERENZE DEI TEST ATLETICI TRA GRUPPI

##### 3.5 CORRELAZIONE PUNTEGGIO WA-MISURE ANTROPOMETRICHE

##### 3.6 CORRELAZIONE PUNTEGGIO WA-RISULTATI DEI TEST ATLETICI

#### 4. DISCUSSIONE

##### 4.1 ANALISI DATI ANTROPOMETRICI

##### 4.2 ANALISI DEI RISULTATI DEI TEST ATLETICI

#### 5. CONCLUSIONI

#### BIBLIOGRAFIA

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 POPOLAZIONE

La popolazione a cui fa riferimento lo studio dell'elaborato è composta da 42 atleti, 24 di genere maschile e 18 di genere femminile. Nello specifico, 22 atleti sono nati nel primo semestre dell'anno (gennaio-giugno) e 20 nel secondo (luglio-dicembre). I soggetti sono nati nei seguenti anni di nascita: 9 atleti nel 2007, 8 atleti nel 2008 e 21 nel 2009. L'età media del campione (risalente a novembre 2024) è di 15 anni e 10 mesi con deviazione standard (DS) di  $\pm 11$  mesi. La media degli anni di pratica dell'atletica leggera si attesta a 5.69 anni  $\pm 2.93$ .

I criteri di inclusione nello studio sono:

- Anno di nascita: 2007-2008-2009. Rappresentati la categoria Allievi (2007-2008) e la categoria Cadetti al secondo anno di permanenza nella stessa (2009).
- Aver raggiunto il minimo di partecipazione ai Campionati italiani di categoria e avere un punteggio tabellare World Athletics (punteggio che permette la correlazione tra prestazioni ottenute in discipline differenti) pari o superiore a 500.

I partecipanti, in base alla disciplina di loro provenienza, sono stati classificati in 4 gruppi: sprint, salti, lanci, mezzofondo.

Il gruppo "sprint" presenta 12 atleti, 7 maschi e 5 femmine. È composto da 3 atleti categoria Allievi e 9 Cadetti: 8 soggetti nati nel primo semestre e 4 nel secondo. L'età media è di 15 anni e 5 mesi  $\pm 8$  mesi. La media dei punteggi tabellari totali è 854.6 pt.  $\pm 78.29$  con un range di 719-1030; la media dei punteggi femminili è 895.8 pt.  $\pm 79.73$  con un range di 828-1030; la media dei punteggi maschili è 825.1  $\pm 67.63$  con un range di 719-939. La media degli anni di pratica dell'atletica leggera si attesta a 5.17 anni  $\pm 2.93$ ; nelle femmine 6.00 anni  $\pm 2.83$ ; nei maschi 4.57 anni  $\pm 2.15$ .

Il gruppo "salti" presenta 10 atleti, 6 maschi e 4 femmine. È composto da 7 atleti categoria Allievi e 3 Cadetti: 5 soggetti nati nel primo semestre e 5 nel secondo. L'età media è di 16 anni  $\pm 11$  mesi. La media dei punteggi tabellari totali è 817.5 pt.  $\pm 97.61$  con un range di 552-900; la media dei punteggi femminili è 774 pt.  $\pm 149.66$  con un range di 552-878; la media dei punteggi maschili è 846.5  $\pm 34.48$  con un range di 801-900. La media degli anni di pratica dell'atletica leggera si attesta a 7.80 anni  $\pm 3.01$ ; nelle femmine 7.00 anni  $\pm 2.45$ ; nei maschi 8.33 anni  $\pm 3.44$ .

Il gruppo "lanci" presenta 11 atleti, 5 maschi e 6 femmine. È composto da 6 atleti categoria Allievi e 5 Cadetti: 4 soggetti nati nel primo semestre e 7 nel secondo. L'età media è di 15 anni e 6 mesi  $\pm 11$  mesi. La media dei punteggi tabellari totali è 734 pt.  $\pm 103.02$  con un range di 509-870; la media dei punteggi femminili è 722.5 pt.  $\pm 128.34$  con un range di 509-870; la media dei punteggi maschili è 747.8  $\pm 74.23$  con un range di 646-832. La media degli anni di pratica dell'atletica leggera si attesta a 5.27 anni  $\pm 2.90$ ; nelle femmine 5.50 anni  $\pm 2.74$ ; nei maschi 5.00 anni  $\pm 3.39$ .

Il gruppo "mezzofondo" presenta 9 atleti, 6 maschi e 3 femmine. È composto da 5 atleti categoria Allievi e 4 Cadetti: 5 soggetti nati nel primo semestre e 4 nel secondo. L'età media è di 15 anni e 11 mesi  $\pm 12$  mesi. La media dei punteggi tabellari totali è 776 pt.  $\pm 169.13$  con un range di 541-1090; la media dei punteggi femminili è 726.3 pt.  $\pm 86.86$  con un range di 631-801; la media dei punteggi maschili è 800.8  $\pm 201.32$  con un range di 541-1090. La media degli anni di pratica dell'atletica leggera si attesta a 4.56 anni  $\pm 2.74$ ; nelle femmine 5.00 anni  $\pm 2.65$ ; nei maschi 3.33 anni  $\pm 1.97$ .

### 2.2 PROTOCOLLO SPERIMENTALE

In accordo alla tesi triennale stilata nel 2023, è stata elaborata una nuova batteria di test che tiene conto di ulteriori evidenze scientifiche presenti in letteratura.

La batteria è composta da 6 test: test antropometrici, test di Bosco, test di balzi, test di palla medica, test di panca piana, test sui 2000m.

La sperimentazione si è svolta domenica 10 novembre 2024 nell'orario 9.00-14.00 con una temperatura media di 10 gradi Celsius. Alcuni test sono stati eseguiti indoor (test di Bosco e panca piana) mentre i restanti outdoor.

Per l'attivazione muscolare si è proceduto all'utilizzo di un protocollo standard per tutti i soggetti in area indoor. Il tempo a disposizione era di 15 minuti con obbligatoriamente una fase di corsa, una di stretching dinamico e una di andature atletiche. Prima di ogni test è stato permesso, inoltre, l'esecuzione di due prove di familiarizzazione. I test sono stati eseguiti nel seguente ordine: test antropometrici, test di Bosco, test di balzi, test di palla medica, test di panca piana, test sui 2000m. Tra ogni test è stata permessa una pausa di 15 minuti.

Gli atleti si trovavano in un periodo agonistico preparatorio, dunque si è proceduto con lo svolgimento di un

microciclo di rigenerazione e con l'astensione dalla pratica prima del giorno di sperimentazione. I soggetti minorenni hanno prodotto una liberatoria per la partecipazione allo studio firmata da chi ne ha la potestà genitoriale.

#### 2.2.1 TEST ANTROPOMETRICI

I valori antropometrici sono stati misurati da una nutrizionista all'inizio del protocollo di sperimentazione. La misurazione del peso è stata eseguita con una bilancia digitale, l'altezza con uno stadiometro fisso e le circonferenze corporee con un metro a nastro per circonferenze. Sono stati raccolti i seguenti valori: altezza, peso, BMI, circonferenza bicipite brachiale, circonferenza petto, circonferenza vita, circonferenza addome, circonferenza fianchi, circonferenza coscia media e circonferenza tricipite surale. Le misurazioni sono state prese sull'arto dominante.

#### 2.2.2 TEST DI BOSCO

I test di Bosco utilizzati sono: Squat Jump (SJ), Countermovement Jump (CMJ), Drop Jump 30cm (DJ30cm) e Reactive Strength Index (RSI).

Per la misurazione dei valori è stato utilizzato il sistema OptoJump Next di Microgate, composto da un sistema di rilevamento ottico con l'uso di una barra trasmittente e una ricevente. La precisione del sistema è pari a 1/1000 di secondo. Il sistema produce i valori comunicando con un software installato su PC.

##### 2.2.2.1 SQUAT JUMP (SJ)

L'atleta effettua un salto verticale partendo dalla posizione di mezzo squat (ginocchia flesse a 90°), con il busto eretto e tenendo le mani ai fianchi. Il soggetto deve eseguire la prova senza compiere un contro-movimento verso il basso. Viene misurata l'altezza di salto. Sono concesse due prove. Lo Squat Jump valuta la capacità di esprimere la forza rapida, la capacità di reclutamento nervoso e l'espressione della quantità delle fibre muscolari veloci espresse in percentuale.

##### 2.2.2.2 COUNTERMOVEMENT JUMP (CMJ)

In questa prova il soggetto parte in stazione eretta, con le mani ai fianchi, e effettua un salto verticale dopo un contro movimento verso il basso (fino al raggiungimento della posizione di mezzo squat). Durante l'azione di flessione il busto deve rimanere il più eretto possibile per evitare ogni possibile influenza sulla prestazione degli arti inferiori. Viene misurata l'altezza di salto. Sono concesse due prove. Il Countermovement Jump indaga la forza esplosiva, la capacità di reclutamento nervoso e le capacità di riutilizzo di energia elastica.

##### 2.2.2.3 DROP JUMP (DJ)

In questa prova la partenza si esegue sopra un box alto 30 cm da cui ci si lascia cadere mantenendo le mani ai fianchi. Non appena verrà toccato il terreno l'atleta dovrà reagire cercando di realizzare un salto verticale massimale. Viene misurata l'altezza di salto. Sono concesse due prove.

Il Drop Jump valuta la forza esplosivo-reattivo-balistica, e in particolare la capacità neuromuscolare di sviluppare altissimi valori di forza durante il ciclo stiramento-accorciamento a carico del tricipite surale.

##### 2.2.2.4 REACTIVE STRENGTH INDEX (RSI)

Durante l'esecuzione del test Drop Jump da 30cm, è stato valutato il "ground reaction time" (tempo di contatto al terreno) ottenendo direttamente dal software il valore RSI.

L'RSI è un indice importante per la valutazione della capacità di utilizzo dello "Stretch and Shortening Cycle" (SSC: ciclo allungamento-accorciamento) e delle capacità esplosive. Il SSC è un fattore determinante in un elevato numero di discipline sportive.

#### 2.2.3 BALZI TRIPLI ALTERNATI

Il protocollo prevede una partenza a due piedi da fermo con successivi tre balzi orizzontali e chiusura nella buca di sabbia. Sono concesse due prove ad atleta.

La misurazione viene eseguita con una bindella metrica dal punto di partenza al segno più vicino alla pedana lasciato in sabbia.

Il test ricerca la lunghezza di salto, indicatore di forza e potenza.

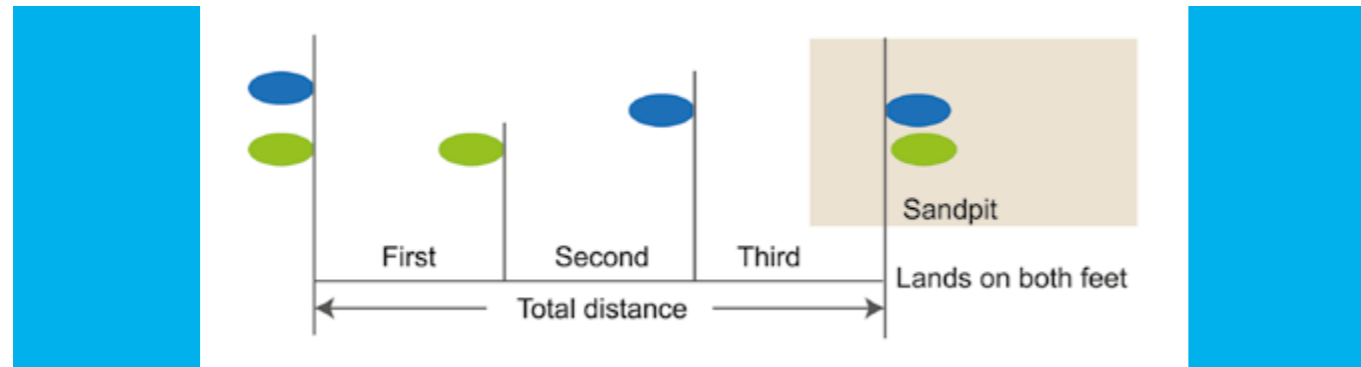


Figura 6 - schema balzi tripli alternati

#### 2.2.4 BALZI QUINTUPLI ALTERNATI

Il protocollo prevede una partenza a due piedi da fermo con successivi cinque balzi orizzontali e chiusura nella buca di sabbia (come osservabile nella figura sotto riportata). Sono concesse due prove ad atleta. La misurazione viene eseguita con una bindella metrica dal punto di partenza al segno più vicino alla pedana lasciato in sabbia.

Il test ricerca la lunghezza di salto, indicatore di forza e potenza.

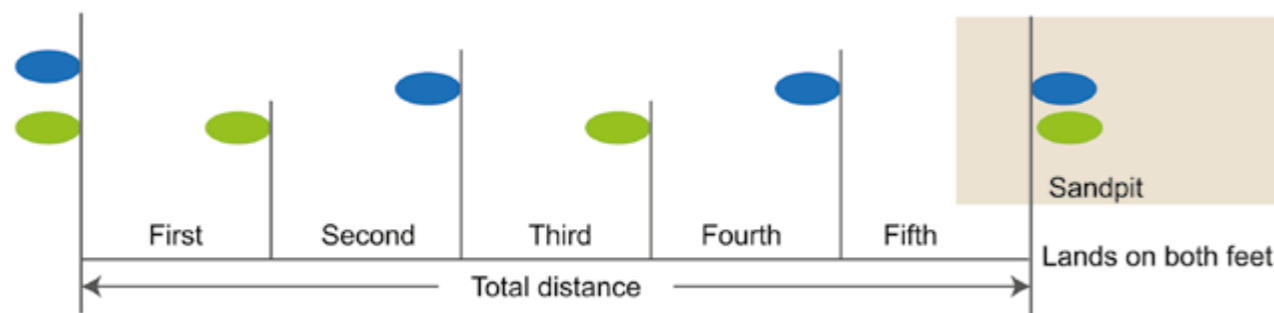


Figura 7 - schema balzi quintupli alternati

#### 2.2.5 PANCA PIANA

Il protocollo prevede la stima della forza degli arti inferiori con un test indiretto a tre ripetizioni massimali di panca piana. Gli atleti hanno indicato il loro massimale (1RM) antecedente al test per l'organizzazione della prova. È stato eseguito un riscaldamento ad un peso leggero (bilanciere scarico) per la valutazione della tecnica di esecuzione. Successivamente si è svolta una seconda attivazione al 75% del 1RM presunta. Dopo una fase di recupero di 5 minuti il test ha avuto inizio con un aumento del peso del 10%. Se l'atleta esegue più di tre ripetizioni, si procede ad un recupero di 3 minuti e un incremento del peso del 5%.

Il calcolo del massimale è stato eseguito con la formula di Brzycki:

$$1RM \text{ predetta} = \text{peso sollevato} / 1.0278 - 0.0278X$$

dove X = numero di ripetizioni eseguite

#### 2.2.6 2000 METRI

Il protocollo prevede un'attivazione cardio-circolatoria di 10 minuti, successivamente l'atleta esegue 5 minuti di recupero. La procedura di partenza è comunicata dall'operatore con i seguenti comandi: "ai vostri posti" e fischio. Gli atleti percorrono cinque giri di pista (400m) e viene misurato il tempo impiegato. La misurazione è manuale con cronometro e prevede l'approssimazione con l'aggiunta di 0,14 centesimi di secondo. Non è permesso l'uso di calzature specialistiche.

#### 2.2.7 LANCIO FRONTALE DELLA PALLA MEDICA

Il protocollo vede il lancio di una palla medica del peso di 3 Kg per le femmine e 4 Kg per i maschi. Il lancio, eseguito da posizione statica con palla mantenuta tra le due mani a livello del petto, ha direzione frontale. È concessa una fase di caricamento degli arti inferiori tramite diminuzione dell'angolo del ginocchio e dell'anca. Sono concessi due lanci per atleta.

La misurazione è eseguita avvalendosi di una bindella metrica dal punto di lancio al punto di atterraggio dell'attrezzo.

Il test valuta la lunghezza del lancio, considerata indicatore di potenza degli arti inferiori.

#### 2.2.8 LANCIO DORSALE DELLA PALLA MEDICA

Il protocollo vede il lancio di una palla medica del peso di 3 Kg per le femmine e 4 Kg per i maschi. Il lancio viene eseguito dorsalmente, partendo da una posizione statica di spalle alla direzione di lancio. La prova si compone di una posizione di partenza in stazione eretta con braccia distese sopra la testa e palla posta fra le mani. Successivamente l'atleta esegue la fase di caricamento scendendo in posizione di mezzo squat, portando il pallone tra gli arti inferiori a livello della coscia. Da questa posizione ha inizio l'inversione del movimento con distensione del corpo verso l'alto e rilascio dell'attrezzo nel punto più alto raggiunto. Sono concessi due lanci per atleta.

La misurazione è eseguita avvalendosi di una bindella metrica dal punto di lancio al punto di atterraggio dell'attrezzo.

Il test valuta la lunghezza del lancio, considerata utile a valutare la potenza del soggetto e la forza dei muscoli dorsali.

#### 2.3 ANALISI STATISTICA

L'analisi condotta ha lo scopo di identificare la correlazione tra le prestazioni ottenute in competizione e quelle nei test, valutando la predittività di alcune prove per le quattro macroaree di specializzazione. Inoltre, sarà valutata la presenza di differenze statistiche tra i vari gruppi di specialità.

Le analisi sono state condotte a genere aggregato con il test ANOVA e successivamente differenziato con il test Kruskal-Wallis per la ricerca di differenze significative tra gruppi, mentre solo in modalità a genere differenziato con il test del coefficiente di Pearson per la ricerca di una correlazione tra le prestazioni WA e valori ottenuti nei test.

Di seguito sono presentati i test statistici utilizzati.

##### 2.3.1 TEST ANOVA A UNA VIA

Il test ANOVA a una via (Analysis of Variance) è un metodo statistico utilizzato per verificare se esistono differenze significative tra le medie di tre o più gruppi indipendenti. L'ipotesi nulla ( $H_0$ ) del test afferma che tutte le medie dei gruppi siano uguali, mentre l'ipotesi alternativa ( $H_1$ ) sostiene che almeno una media differisca dalle altre. Questo tipo di test si basa sull'analisi della varianza tra e all'interno dei gruppi. Il principio fondamentale è confrontare la varianza tra i gruppi (cioè la variabilità delle medie dei gruppi rispetto alla media generale) con la varianza interna ai gruppi (cioè la variabilità dei dati all'interno di ciascun gruppo). Il rapporto tra queste due varianze genera il valore del test F, che viene confrontato con un valore critico derivato dalla distribuzione F di Fisher. Se il valore F calcolato è maggiore del valore critico (o se il p-value è inferiore al livello di significatività scelto,  $P < 0.05$ ), si rifiuta l'ipotesi nulla, indicando che almeno un gruppo differisce significativamente dagli altri.

##### 2.3.2 TEST DI KRUSKAL-WALLIS

Il test di Kruskal-Wallis è un test statistico non parametrico utilizzato per verificare se esistono differenze significative tra le mediane di tre o più gruppi indipendenti. È considerato l'equivalente non parametrico dell'ANOVA a una via, ed è utilizzabile in condizioni di campioni poco numerosi. L'ipotesi nulla ( $H_0$ ) del test afferma che le distribuzioni dei gruppi siano identiche, ovvero che provengano dalla stessa popolazione. L'ipotesi alternativa ( $H_1$ ) sostiene che almeno un gruppo differisca dagli altri. Il test si basa sui ranghi delle osservazioni, piuttosto che sui valori originali. Tutti i dati vengono ordinati dal più piccolo al più grande e sostituiti con i rispettivi ranghi. Successivamente, si calcola la somma dei ranghi per ciascun gruppo e, a partire da queste, si ottiene la statistica H di Kruskal-Wallis. Tale statistica segue una distribuzione chi-quadrato con  $k-1$  gradi di libertà, dove "kk" è il numero di gruppi. Se la statistica H supera il valore critico della distribuzione chi-quadrato (o se il p-value è inferiore al livello di significatività scelto,  $P < 0.05$ ), si rifiuta l'ipotesi nulla, indicando che almeno un gruppo differisce significativamente dagli altri.

### 2.3.3 TEST DEL COEFFICIENTE DI PEARSON

Il coefficiente di correlazione di Pearson (indicato con r) è una misura statistica della relazione lineare tra due variabili quantitative. Esso esprime la forza e la direzione dell'associazione tra due insiemi di dati e assume valori compresi tra -1 e +1:

- r = +1 indica una correlazione perfettamente positiva: all'aumentare di una variabile, l'altra aumenta proporzionalmente
- r = -1 indica una correlazione perfettamente negativa: all'aumentare di una variabile, l'altra diminuisce proporzionalmente
- r = 0 indica assenza di correlazione lineare tra le due variabili.

Il coefficiente r si calcola a partire dalle deviazioni standard e dalla covarianza tra le variabili con la formula:

$$r = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Dove:

- cov (X, Y) è la covarianza tra le variabili XX e YY
- $\sigma_X$  e  $\sigma_Y$  sono le deviazioni standard delle due variabili.

Dopo aver calcolato il coefficiente, è possibile verificarne la significatività statistica tramite un test t, per valutare se la correlazione osservata è significativa o attribuibile al caso. Se il p-value risulta inferiore al livello di significatività (ad esempio  $\alpha = 0,05$ ), si conclude che la correlazione tra le variabili è statisticamente significativa.

## 3. RISULTATI

### 3.1 RISULTATI ANTROPOMETRICI

Di seguito sono riportate le tabelle con i risultati antropometrici ottenuti. I risultati saranno inizialmente raggruppati per specialità e senza distinzione di genere, e successivamente divisi per genere e specialità.

TUTTI GLI ATLETI	TOTALE	
	MEDIA	DS
ALTEZZA (m)	1.73	0.08
PESO (kg)	64.15	12.09
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.38	3.21
circ. PETTO (cm)	83.23	10.54
circ. VITA (cm)	73.01	8.11
circ. ADDOME (cm)	75.80	7.70
circ. FIANCHI (cm)	91.57	6.06
circ. COSCIA (cm)	54.53	5.00
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	36.12	2.63
circ. BICIPITE (cm)	25.37	3.09

Tabella 2 - risultati antropometrici gruppo totale

I risultati ottenuti sul gruppo totale di specializzazione, quindi tutti gli atleti sottoposti al protocollo, evidenziano poca variabilità nella misurazione dell'altezza ( $\pm 0.08$ ), mentre la variabilità è alta rispetto al peso ( $\pm 12.09$ ) e al BMI ( $\pm 3.21$ ). Le circonferenze corporee dimostrano buona variabilità ( $\pm 2.69-10.54$ ), evidenziando la presenza di vari modelli fisici nel campione totale.

TUTTI GLI ATLETI	SPRINT		SALTI		LANCI		MEZZOFONDO	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
ALTEZZA (m)	1.72	0.03	1.75	0.10	1.73	0.11	1.72	0.08
PESO (Kg)	61.35	7.58	60.29	8.29	74.52	16.51	59.52	7.06
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	20.78	2.49	19.56	1.66	24.80	3.64	20.02	1.35
circ. PETTO (cm)	81.02	9.61	81.00	9.68	88.77	13.54	81.88	7.07
circ. VITA (cm)	71.14	6.53	69.18	5.89	78.81	10.05	72.66	6.57
circ. ADDOME (cm)	73.17	4.84	71.67	3.57	82.88	10.21	75.26	5.11
circ. FIANCHI (cm)	89.21	3.62	87.93	1.65	99.25	6.37	89.40	2.26
circ. COSCIA (cm)	53.66	3.86	52.21	2.28	60.09	4.70	51.48	3.65
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	35.39	2.00	34.69	1.60	38.51	3.27	35.77	1.51
circ. BICIPITE (cm)	24.93	2.54	24.30	2.30	28.25	3.30	23.66	2.08

Tabella 3 - risultati antropometrici gruppo totale diviso per specialità

I valori ora presentati dividono il campione totale nelle quattro aree di specialità adottate nella sperimentazione mantenendo aggregati i soggetti con genere aggregato. I valori relativi all'altezza ricalcano la poca variabilità riscontrata nel gruppo totale con deviazioni standard da 0.03 a 0.11. La media del peso nella categoria lanci è superiore rispetto alle altre categorie e si riscontra ampia variabilità nelle deviazioni standard nel medesimo campione ( $\pm 9.29$ ). Nel campione preso in esame, il gruppo lanci presenta circonferenze corporee medie e BMI medio più alti rispetto agli altri gruppi. Il gruppo salti presenta le circonferenze medie inferiori rispetto agli altri gruppi meno che le medie di circ. coscia (51.48 cm) e circ. bicipite (23.66 cm) che sono minori nel gruppo mezzofondo. Come per l'analisi del gruppo totale si evidenzia buona variabilità, riscontrabile con la DS, nelle circonferenze corporee (sprint  $\pm 2.00$  e  $\pm 6.53$ ; salti  $\pm 1.60$  e  $\pm 5.89$ ; lanci  $\pm 3.27$  e  $\pm 10.21$ ; mezzofondo  $\pm 1.51$  e  $\pm 6.57$ ).

Di seguito sono presentati i risultati a gruppo aggregato e successivamente divisi per specialità del genere femminile.

FEMMINE	TOTALE	
	MEDIA	DS
ALTEZZA (m)	1.66	0.06
PESO (kg)	58.24	9.17
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.03	2.86
circ. PETTO (cm)	74.32	5.70
circ. VITA (cm)	69.20	7.64
circ. ADDOME (cm)	74.31	7.20
circ. FIANCHI (cm)	91.82	6.10
circ. COSCIA (cm)	55.89	3.87
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	35.57	2.52
circ. BICIPITE (cm)	23.95	2.57

Tabella 4- risultati antropometrici gruppo totale femminile

Anche nel gruppo totale composto da sole femmine l'altezza ha DS molto bassa ( $\pm 0.06$ ), mentre il peso ha una variabilità maggiore ( $\pm 9.17$ ). Si mantiene una buona variabilità nelle circonferenze anche se le DS si ritrovano con valori più bassi rispetto al gruppo totale con maschi e femmine aggregati ( $\pm 2.52-7.64$ ).

FEMMINE	SPRINT		SALTI		LANCI		MEZZOFONDO	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
ALTEZZA (m)	1.70	0.04	1.67	0.08	1.65	0.08	1.63	0.01
PESO (Kg)	57.48	4.46	53.28	2.28	65.17	12.77	52.27	3.42
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	19.94	2.08	19.63	1.63	23.8	2.84	19.67	1.29
circ. PETTO (cm)	71.90	1.78	98.20	2.10	78.75	7.63	74.00	4.58
circ. VITA (cm)	67.00	4.51	70.95	1.60	72.87	7.31	73.83	12.47
circ. ADDOME (cm)	71.82	5.04	69.03	1.51	78.7	8.12	76.73	9.11
circ. FIANCHI (cm)	88.84	2.97	88.28	1.04	98.15	6.71	88.83	1.89
circ. COSCIA (cm)	54.72	2.42	53.58	1.52	59.58	3.84	53.53	3.48
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	35.36	2.32	33.85	1.60	37.37	2.89	34.63	1.22
circ. BICIPITE (cm)	23.14	0.99	22.85	1.77	26.57	2.47	21.53	0.90

Tabella 5 - risultati antropometrici gruppo femminile diviso per specialità

La statura maggiore è riscontrata nel gruppo sprint (170 cm), le relative variabilità dell'altezza sono marginali (0.04-0.08). Il peso medio (65.17 kg), il BMI medio (23.80) e le circonferenze medie sono più alti nel gruppo lanci, anche se nello stesso gruppo le variabilità della deviazione standard sono elevate ( $\pm 2.47-8.12$ ), soprattutto se rapportate alle DS degli altri tre gruppi presi in esame. Le variabilità sono elevate anche nei gruppi sprint ( $\pm 0.99-5.04$ ) e mezzofondo ( $\pm 0.90-12.47$ ), mentre sono modeste nel gruppo salti ( $\pm 1.04-2.10$ ).

Di seguito sono presentati i risultati a gruppo aggregato e successivamente divisi per specialità del genere maschile.

MASCHI	TOTALE	
	MEDIA	DS
ALTEZZA (m)	1.78	0.06
PESO (kg)	68.59	12.27
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.64	3.48
circ. PETTO (cm)	89.91	8.08
circ. VITA (cm)	75.86	7.37
circ. ADDOME (cm)	76.92	8.03
circ. FIANCHI (cm)	91.39	6.15
circ. COSCIA (cm)	53.51	5.57
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	36.53	2.69
circ. BICIPITE (cm)	26.44	3.07

Tabella 6 - risultati antropometrici gruppo totale maschile

Il gruppo maschile aggregato con tutte le quattro aree di specialità evidenzia una DS molto bassa nell'altezza ( $\pm 0.06$ ) e una alta nel peso ( $\pm 12.27$ ), ricalcando la tendenza osservata a gruppi totali e nel solo gruppo femminile. La variabilità nelle circonferenze è anche qui alta, dovuta all'aggregazione dei gruppi di specialità.

MASCHI	SPRINT		SALTI		LANCI		MEZZOFONDO	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
ALTEZZA (m)	1.73	0.02	1.81	0.06	1.82	0.07	1.77	0.04
PESO (Kg)	64.11	8.40	64.97	7.42	85.74	13.76	63.15	5.25
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.38	2.72	19.77	1.80	25.99	4.44	20.19	1.47
circ. PETTO (cm)	87.53	6.96	87.70	5.59	100.80	7.34	85.82	3.97
circ. VITA (cm)	74.10	6.34	73.32	3.10	85.94	8.31	72.07	2.38
circ. ADDOME (cm)	74.13	4.85	73.43	3.51	87.90	10.98	74.52	2.56
circ. FIANCHI (cm)	89.47	4.24	87.70	2.01	100.56	6.41	89.68	2.54
circ. COSCIA (cm)	52.90	4.68	51.30	2.34	60.70	5.99	50.45	3.57
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	35.41	1.94	35.25	1.47	39.88	3.47	36.33	1.38
circ. BICIPITE (cm)	26.20	2.57	25.27	2.20	30.26	3.19	24.72	1.59

Tabella 7 - risultati antropometrici gruppo maschile diviso per specialità

La statura media maggiore si riscontra nel gruppo lanci (182 cm), mentre la minore nel gruppo sprint (173 cm). Il peso medio maggiore è sempre riscontrabile nel gruppo lanci (85.74 kg), con il minore nel gruppo mezzofondo (63.15 kg). Il BMI medio e tutte le circonferenze medie maggiori si osservano anche qui nel gruppo lanci. I valori medi più bassi nelle circonferenze si riscontrano nel gruppo mezzofondo e nel gruppo salti. La variabilità nelle circonferenze è alta in tutti e quattro i gruppi, indicando una grande dispersione dei risultati raccolti nel campione in esame (sprint  $\pm 1.94$  e  $\pm 6.96$ ; salti  $\pm 1.47$  e  $\pm 5.59$ ; lanci  $\pm 3.19$  e  $\pm 10.98$ ; mezzofondo  $1.38$  e  $\pm 3.97$ ).

### 3.2 RISULTATI DEI TEST ATLETICI

Di seguito sono riportate le tabelle con i risultati prestativi ottenuti. I risultati saranno inizialmente clusterizzati per specialità e con genere aggregato, e successivamente divisi per genere e specialità.

TUTTI GLI ATLETI	TOTALE	
	MEDIA	DS
Squat Jump (cm)	35.00	6.74
Countermovement Jump (cm)	38.35	7.52
Drop Jump 30cm (cm)	34.49	6.29
Reactive Strength Index (m/s)	143.33	39.18
Salto triplo alternato da fermo (m)	6.78	0.88
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	11.77	1.44
Lancio frontale palla medica (m)	8.66	1.98
Lancio dorsale palla medica (m)	10.85	3.28
Massimale panca piana (Kg)	51.13	19.9
Tempo 2000m (s)	517.32	93.00

Tabella 8 - risultati prestativi gruppo totale

I risultati presentati identificano un'elevata variabilità nelle prestazioni, probabilmente dovuta all'aggregazione dei quattro gruppi e dei due generi.

TUTTI GLI ATLETI	SPRINT		SALTI		LANCI		MEZZOFONDO	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
Squat Jump (cm)	36.36	8.13	36.86	6.72	33.45	6.43	33.01	4.95
Countermovement Jump (cm)	40.75	9.8	38.91	7.26	37.23	6.19	35.91	5.78
Drop Jump 30cm (cm)	36.40	7.8	34.99	5.90	33.93	5.70	32.06	5.14
Reactive Strength Index (m/s)	161.75	35.6	148.9	42.93	112.00	29.5	150.89	31.67
Salto triplo alternato da fermo (m)	6.74	0.74	7.20	1.04	6.60	0.83	6.60	0.93
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	11.93	1.33	12.32	1.63	11.42	1.42	11.35	1.40
Lancio frontale palla medica (m)	8.51	1.59	8.61	1.89	9.77	1.99	7.56	2.12
Lancio dorsale palla medica (m)	10.45	2.56	10.71	3.33	13.37	3.16	8.45	2.39
Massimale panca piana (Kg)	52.29	17.42	47.9	17.33	63.09	25.44	38.56	8.67
Tempo 2000m (s)	503.10	45.00	526.8	17.33	615.47	85.23	405.8	38.96

Tabella 9 - risultati prestativi gruppo totale diviso per specialità

I dati presentati divisi per specialità, ma ancora aggregati per genere, evidenziano alcune caratteristiche: il gruppo salti presenta una prestazione media più alta degli altri gruppi nei test Squat Jump (36.86 cm), triplo alternato (7.20 m) e quintuplo alternato (12.32 m); il gruppo sprint presenta una prestazione media maggiore nei test Countermovement Jump (40.75 cm), Drop Jump 30cm (36.40 cm) e RSI (161.75 m/s); il gruppo lanci ha media maggiore nel lancio frontale (9.77 m) e dorsale (13.37 m) della palla medica e nella panca piana (63.09 kg), mentre il mezzofondo presenta il valore minore nei 2000m (405.80 s), indicando essere il miglior gruppo nel test di resistenza. I valori evidenziano ancora elevata variabilità nell'analisi delle deviazioni standard in tutti i test eseguiti.

Di seguito sono presentati i risultati a gruppo aggregato e successivamente divisi per specialità del genere femminile.

	FEMMINE		TOTALE	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS
Squat Jump (cm)	29.54	4.39	29.54	4.39
Countermovement Jump (cm)	32.37	4.52	32.37	4.52
Drop Jump 30cm (cm)	29.33	3.84	29.33	3.84
Reactive Strength Index (m/s)	120.78	32.84	120.78	32.84
Salto triplo alternato da fermo (m)	6.02	0.50	6.02	0.50
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	10.49	0.77	10.49	0.77
Lancio frontale palla medica (m)	7.17	1.38	7.17	1.38
Lancio dorsale palla medica (m)	8.73	2.38	8.73	2.38
Massimale panca piana (Kg)	35.85	8.25	35.85	8.25
Tempo 2000m (s)	566.97	88.05	566.97	88.05

Tabella 10 - risultati prestativi gruppo totale femminile

I risultati medi registrati sono inferiori rispetto alle medie del gruppo senza distinzione di genere. Si mantiene una media variabilità in ogni test.

FEMMINE	SPRINT		SALTI		LANCI		MEZZOFONDO	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
Squat Jump (cm)	29.12	4.67	30.05	3.45	29.52	5.07	29.63	6.09
Countermovement Jump (cm)	31.58	4.45	31.68	3.87	33.63	5.10	32.07	6.24
Drop Jump 30cm (cm)	29.52	1.35	29.65	4.25	30.45	5.27	34.92	3.14
Reactive Strength Index (m/s)	135.20	32.01	112.50	36.72	111.17	36.37	127.00	28.16
Salto triplo alternato da fermo (m)	6.04	0.36	6.13	0.28	6.15	0.66	5.56	0.50
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	10.72	0.60	10.68	0.45	10.48	0.98	9.86	0.87
Lancio frontale palla medica (m)	7.03	1.23	6.61	0.46	8.46	1.14	5.55	0.14
Lancio dorsale palla medica (m)	8.41	1.92	7.17	0.78	11.16	1.85	6.46	0.79
Massimale panca piana (Kg)	35.60	7.64	34.88	8.47	42.42	7.81	28.00	0.00
Tempo 2000m (s)	513.34	46.82	582.32	26.44	658.89	54.82	452.06	11.92

Tabella 11 - risultati prestativi gruppo femminile diviso per specialità

I dati registrati identificano come il gruppo sprint abbia prestazioni medie migliori degli altri nei seguenti test: RSI (135.20 m/s) e quintuplo alternato (10.72 m). Il gruppo salti è il migliore nel test Squat Jump (30.05 cm), mentre il gruppo lanci è superiore agli altri in: Countermovement Jump (33.63 cm), Drop Jump 30 cm (33.63 cm), triplo alternato 6.15 m), palla medica frontale (8.46 m) e dorsale (11.16 m) e panca piana (42.42 kg). Il gruppo mezzofondo supera le altre specialità nei 2000m. Le variabilità si attestano a valori medi indicando una non eccessiva variabilità nei campioni presi in esame.

Di seguito sono presentati i risultati a gruppo aggregato e successivamente divisi per specialità del genere maschile.

	MASCHI		TOTALE	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS
Squat Jump (cm)	39.09	5.09	39.09	5.09
Countermovement Jump (cm)	42.84	6.07	42.84	6.07
Drop Jump 30cm (cm)	38.35	4.81	38.35	4.81
Reactive Strength Index (m/s)	160.25	35.26	160.25	35.26
Salto triplo alternato da fermo (m)	7.36	0.63	7.36	0.63
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	12.72	1.03	12.72	1.03
Lancio frontale palla medica (m)	9.78	1.58	9.78	1.58
Lancio dorsale palla medica (m)	12.44	2.97	12.44	2.97
Massimale panca piana (Kg)	62.15	18.93	62.15	18.93
Tempo 2000m (s)	480.09	79.44	480.09	79.44

Tabella 12 - risultati prestativi gruppo totale maschile

Le medie si osservano essere maggiori in ogni test sia valutando il gruppo totale che quello femminile. La variabilità si mantiene a valori medi.

MASCHI	SPRINT		SALTI		LANCI		MEZZOFONDO	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
Squat Jump (cm)	41.53	5.63	41.4	3.51	38.18	4.49	34.7	3.75
Countermovement Jump (cm)	47.3	6.54	43.73	4.01	41.54	4.56	37.83	4.96
Drop Jump 30cm (cm)	41.31	6.53	38.55	3.72	38.1	2.55	34.92	3.14
Reactive Strength Index (m/s)	180.71	25.17	173.17	27.24	113.00	22.78	162.83	27.82
Salto triplo alternato da fermo (m)	7.24	0.48	7.91	0.61	7.15	0.7	7.12	0.57
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	12.79	0.96	13.42	1.03	12.55	0.95	12.09	0.93
Lancio frontale palla medica (m)	9.57	0.69	9.94	0.99	11.35	1.60	8.56	1.89
Lancio dorsale palla medica (m)	11.90	1.91	13.08	1.68	16.03	2.10	9.44	2.31
Massimale panca piana (Kg)	64.21	10.94	56.58	16.48	87.9	11.45	43.83	4.47
Tempo 2000m (s)	495.79	45.85	489.78	27.01	563.37	90.46	382.66	21.11

Tabella 13 - risultati prestativi gruppo maschile diviso per specialità

I risultati indicano come il gruppo sprint sia superiore, a livello medio, rispetto ai tre gruppi restanti in Squat Jump (41.53 cm), Countermovement Jump (47.30 cm), Drop Jump 30cm (41.31 cm), RSI (180.71 m/s); quest'ultimo ricalcando il risultato osservato al femminile. Il gruppo salti performa di più mediamente nel triplo alternato (7.91 m), quintuplo alternato (13.42 m); il gruppo lanci in lancio frontale (11.35 m) e dorsale (16.03 m) della palla medica e massimale di panca piana (87.90 kg), come nel genere femminile. Il mezzofondo segue anch'esso il comportamento osservato nel gruppo femminile: risulta infatti con la media minore nei 2000m (382.66 s), indicando quindi l'essere il gruppo migliore. Le variabilità si attestano a valori medi indicando una non eccessiva variabilità.

### 3.3 DIFFERENZE ANTROPOMETRICHE TRA GRUPPI

Di seguito saranno espone tre tabelle contenenti le differenze statistiche osservate nelle misure antropometriche tra i quattro gruppi di specializzazione. La prima tabella presenta i gruppi con genere aggregato (maschi + femmine) e i rispettivi valori analizzati con il test statistico ANOVA. Successivamente saranno presenti le tabelle con i generi divisi e i valori analizzati con il test statistico Kruskal-Willis.

TUTTI GLI ATLETI	p-Value	Significatività	Differenze tra gruppi
ALTEZZA (m)	0,77		
PESO (kg)	0,007	**	T>J; T>S; T>M
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0,00007	***	T>J; T>S; T>M
circ. PETTO (cm)	0,25		
circ. VITA (cm)	0,029	*	T>J
circ. ADDOME (cm)	0,0014	**	T>J; T>S
circ. FIANCHI (cm)	0,0000015	***	T>J; T>S; T>M
circ. COSCIA (cm)	0,000017	***	T>J; T>S; T>M
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	0,0019	**	T>J; T>S; T>M
circ. BICIPITE (cm)	0,0013	**	T>J; T>S; T>M

S = sprint; J = salti; T = lanci; M = mezzofondo. \*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001

Tabella 14 - significatività statistica valori antropometrici gruppo totale

Nell'analisi a genere "aggregato" si evidenziano elevate significatività statistiche. Il BMI, circ. fianchi, circ. coscia, presenta differenze statistiche molto rilevanti (P-value<0.001) rispetto ai gruppi salti, sprint e mezzofondo. Le medesime differenze tra i lanci e gli altri tre gruppi sono evidenti anche nel peso, circ. addome, circ. tricipite surale e circ. bicipite, con significatività pari a P-value<0.01.

I valori osservati indicano quindi una differenza significativa nella composizione fisica dei lanciatori rispetto agli altri atleti, osservazione in accordo anche con l'analisi delle medie e delle deviazioni standard eseguite al paragrafo 3.1.

FEMMINE	p-Value	Significatività	Differenze tra gruppi
ALTEZZA (m)	0,27		
PESO (kg)	0,11		
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0,028	*	T>J
circ. PETTO (cm)	0,2		
circ. VITA (cm)	0,04	*	T>J
circ. ADDOME (cm)	0,07		
circ. FIANCHI (cm)	0,13		
circ. COSCIA (cm)	0,023	*	T>J; T>M
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	0,09		
circ. BICIPITE (cm)	0,013	*	T>M

S = sprint; J = salti; T = lanci; M = mezzofondo. \*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001

Tabella 15 - significatività statistica valori antropometrici gruppo femminile

Valutando singolarmente il genere femminile, le differenze statistiche significative diminuiscono rispetto al gruppo a genere aggregato, mantenendo però una differenza rilevante tra il gruppo lanci e il gruppo mezzofondo. Sono infatti osservabili quattro differenze statistiche significative: BMI, circ. vita, circ. coscia e circ. bicipite. Il dato della circ. coscia indica anche una differenza rilevante tra i lanci e i salti nel nostro campione esaminato.

La valutazione dei valori osservati supporta l'ipotesi di un maggior sviluppo fisico dei lanciatori, come anche riscontrabile con le medie al paragrafo 3.1.

MASCHI	p-Value	Significatività	Differenze tra gruppi
ALTEZZA (m)	0,033	*	
PESO (kg)	0,018	*	T>S
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0,019	*	T>J
circ. PETTO (cm)	0,03	*	T>M
circ. VITA (cm)	0,022	*	T>M
circ. ADDOME (cm)	0,032	*	
circ. FIANCHI (cm)	0,0095	**	T>S; T>J
circ. COSCIA (cm)	0,018	*	T>J; T>M
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	0,034	*	T>S
circ. BICIPITE (cm)	0,03	*	T>M

S = sprint; J = salti; T = lanci; M = mezzofondo. \*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001

Tabella 16 - significatività statistica valori antropometrici gruppo maschile

Nell'analisi del genere maschile si osservano numerose differenze statistiche significative. Tra i gruppi, risulta significativa la differenza di statura e di circ. addome. Il peso, la circ. fianchi e la circ. tricipite surale risultano differenti tra lanci e sprint. Tra lanci e salti sono evidenti differenze in BMI, circ. fianchi e circ. coscia. Le differenze invece tra il gruppo mezzofondo e lanci sono osservabili nella circ. petto, circ. vita, circ. coscia, circ. bicipite.

### 3.4 DIFFERENZE DEI TEST ATLETICI TRA GRUPPI

Di seguito saranno espone tre tabelle contenenti le differenze statistiche registrate a seguito dei test di valutazione dei parametri di prestazione fisica tra i quattro gruppi di specializzazione. La prima tabella presenterà i gruppi con genere aggregato (maschi + femmine) e i rispettivi valori analizzati con il test statistico ANOVA. Successivamente saranno presenti le tabelle con i generi divisi e i valori analizzati con il test statistico Kruskal-Willis.

TUTTI GLI ATLETI	p-Value	Significatività	Differenze tra gruppi
Punteggio WA	0,08		
Squat Jump (cm)	0,46		
Countermovement Jump (cm)	0,49		
Drop Jump 30cm (cm)	0,47		
Reactive Strength Index (m/s)	0,01	*	S>T
Salto triplo alternato da fermo (m)	0,39		
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	0,4		
Lancio frontale palla medica (m)	0,09		
Lancio dorsale palla medica (m)	0,0053	**	T>M
Massimale panca piana (Kg)	0,042	*	T>M
Tempo 2000m (s)	0,00000034	***	S>T; J>T; M>S; M>J; M>T

S = sprint; J = salti; T = lanci; M = mezzofondo. \*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001

Tabella 17- significatività statistica prestazioni fisiche gruppo totale

L'analisi dei gruppi a genere aggregato riconosce alcune differenze statisticamente rilevanti. I test di Bosco (Squat Jump, Countermovement Jump e Drop Jump 30cm) e i test di balzo non distinguono significativamente, nel campione analizzato, i gruppi di specialità. Il test della palla medica dorsale (\*\* P<0.01) e il massimale di panca piana (\* P<0.05) differenziano in modo rilevante i lanci dal mezzofondo. L'RSI (\* P<0.05) riconosce differenze tra il gruppo sprint e il gruppo lanci. Il test sui 2000m (\*\*\*) identifica come il gruppo mezzofondo sia superiore agli altri tre.

Per ogni test che ha evidenziato una differenza statistica significativa tra gruppi è presente un box plot dove è possibile osservare la distribuzione dei valori (comprensivi di media e mediana) e la significatività espressa con il simbolo \* corrispondente a P<0.05, simbolo \*\* corrispondente a P<0.01, simbolo \*\*\* corrispondente a P<0.001.

Reactive Strength Index TUTTI GLI ATLETI

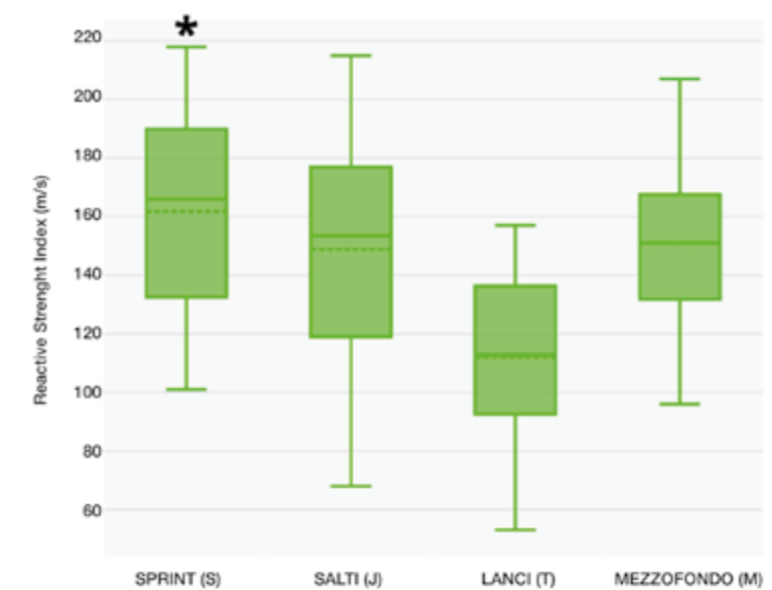


Figura 8 - box plot RSI gruppo totale

Lancio dorsale palla medica TUTTI GLI ATLETI

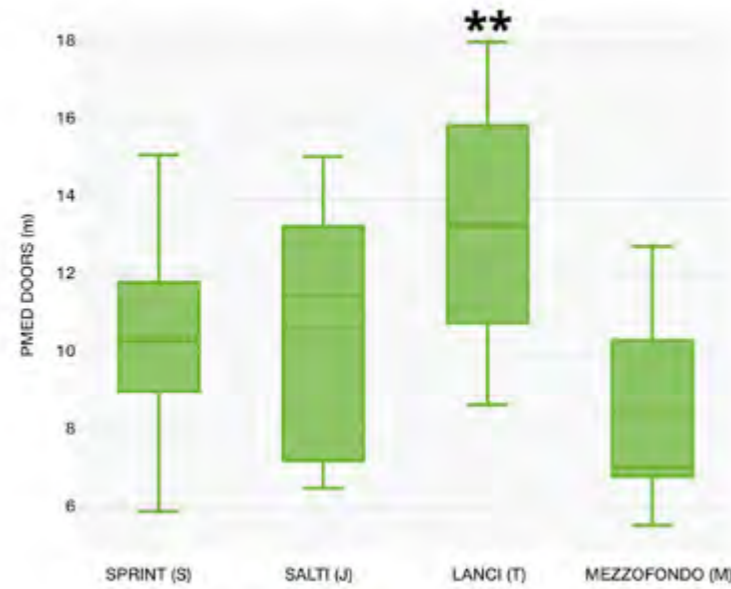


Figura 9 - box plot palla medica dorsale gruppo totale

Tempo 2000m TUTTI GLI ATLETI

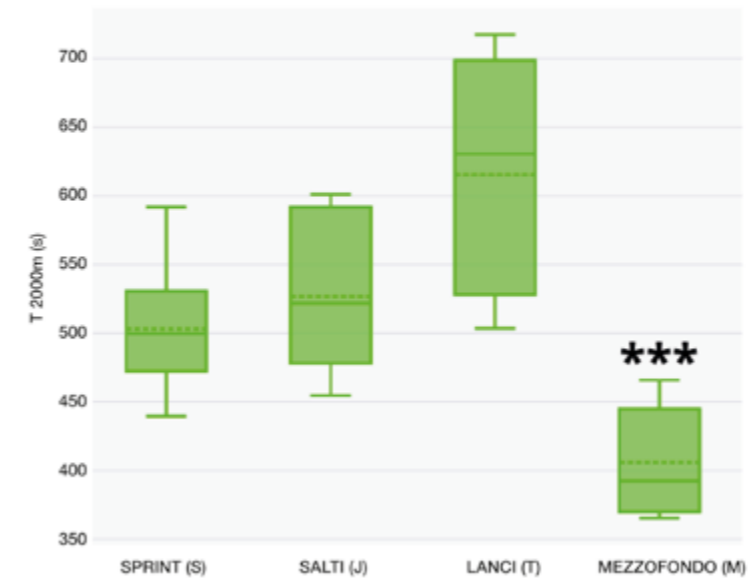


Figura 11 - box plot 2000m gruppo totale

Massimale panca piana TUTTI GLI ATLETI

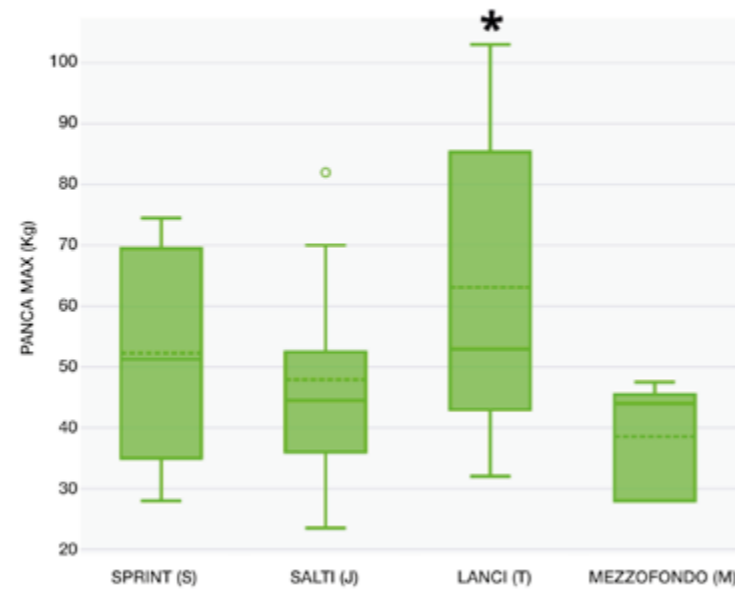


Figura 10 - box plot massimale panca piana gruppo totale

FEMMINE	p-Value	Significatività	Differenze tra gruppi
Punteggio WA	0,043	*	
Squat Jump (cm)	0,99		
Countermovement Jump (cm)	0,7		
Drop Jump 30cm (cm)	0,42		
Reactive Strength Index (m/s)	0,72		
Salto triplo alternato da fermo (m)	0,37		
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	0,51		
Lancio frontale palla medica (m)	0,015	*	T>M
Lancio dorsale palla medica (m)	0,012	*	T>M
Massimale panca piana (Kg)	0,095		
Tempo 2000m (s)	0,0032	**	M>T

S = sprint; J = salti; T = lanci; M = mezzofondo. \*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001

Tabella 18 - significatività statistica prestazioni fisiche gruppo femminile

L'analisi dei gruppi composti dalle atlete mostra alcune differenze statisticamente rilevanti. I gruppi presentano una differenza statistica significativa (\* P<0.05) nel punteggio WA (punti tabellari World Athletics) considerando il gruppo sprint superiore agli altri, come visibile nel box plot sotto riportato (figura 12). Il gruppo lanci e il gruppo mezzofondo si distinguono per il lancio frontale e dorsale della palla medica (\* P<0.05), con risultati a favore del primo gruppo, e nel test sui 2000m (\*\*P<0.01), a favore del secondo. Di seguito sono riportati i box plot corrispondenti alle differenze statistiche significative riscontrate nei gruppi.

### Punteggio WA FEMMINE

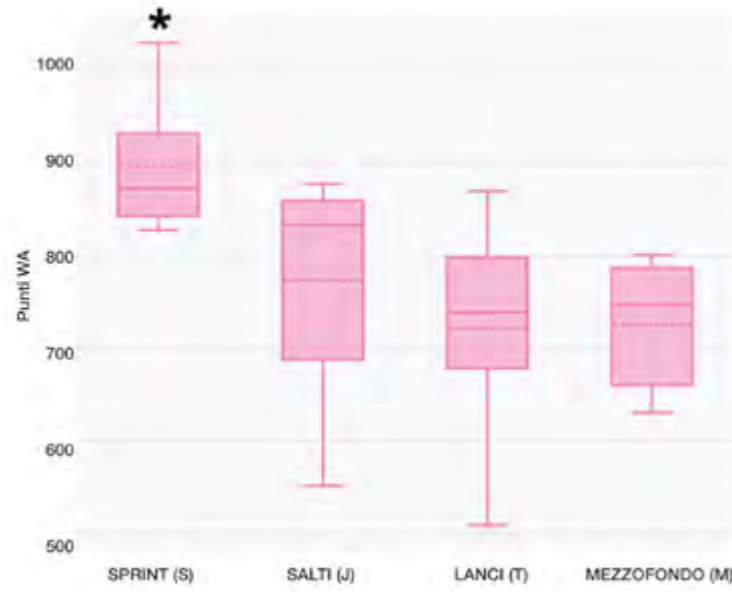


Figura 12- box plot punteggio WA gruppo femminile

### Lancio dorsale palla medica FEMMINE

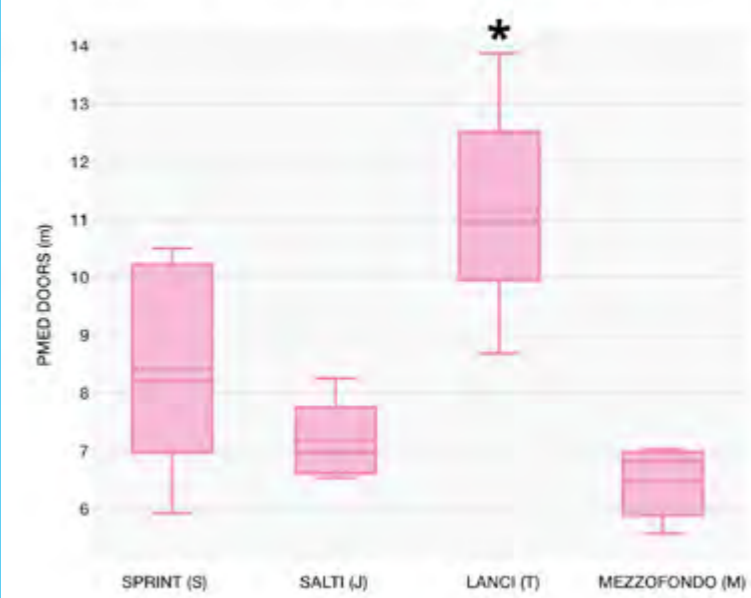


Figura 14 - box plot palla medica dorsale gruppo femminile

### Lancio frontale palla medica FEMMINE

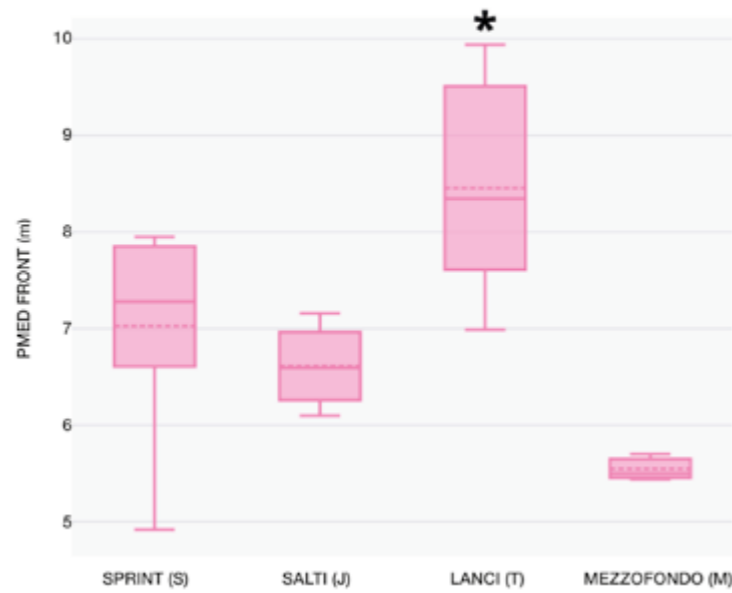


Figura 13 - box plot palla medica frontale gruppo femminile

### Tempo 2000m FEMMINE

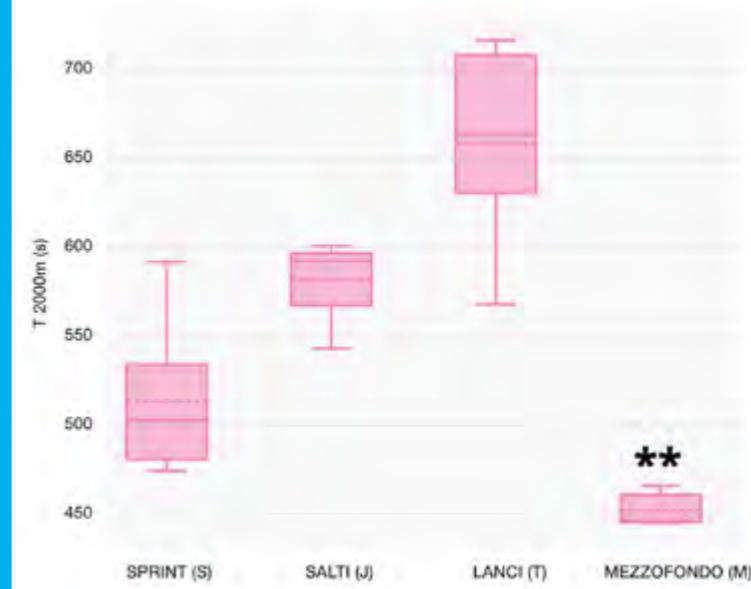


Figura 15- box plot 2000m gruppo femminile

MASCHI	p-Value	Significatività	Differenze tra gruppi
Punteggio WA	0,20		
Squat Jump (cm)	0,031	*	
Countermovement Jump (cm)	0,042	*	S>M
Drop Jump 30cm (cm)	0,11		
Reactive Strength Index (m/s)	0,018	*	S>T
Salto triplo alternato da fermo (m)	0,076		
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	0,19		
Lancio frontale palla medica (m)	0,090		
Lancio dorsale palla medica (m)	0,0049	**	T>M
Massimale panca piana (Kg)	0,0023	**	T>M
Tempo 2000m (s)	0,0032	**	M>T

S = sprint; J = salti; T = lanci; M = mezzofondo. \*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001

Tabella 19 - significatività statistica prestazioni fisiche gruppo maschile

L'analisi dei gruppi composti da soli soggetti di genere maschile fa emergere alcune differenze statisticamente rilevanti. È presente una differenza significativa nel test Squat Jump (\* P<0.05) a favore del gruppo sprint rispetto agli altri, come osservato nel box plot riportato in seguito. Inoltre, lo sprint si differenzia nel Countermovement Jump (\* P<0.05) dal gruppo mezzofondo e nel RSI (\* P<0.05) dal gruppo lanci. I lanci e il mezzofondo si differenziano con risultati a favore del primo nella palla medica dorsale (\*\* P<0.01), nella panca piana (\*\* P<0.01) e nei 2000m (\*\* P<0.01), a favore del secondo. Di seguito sono riportati i box plot corrispondenti alle differenze statistiche significative riscontrate nei gruppi.

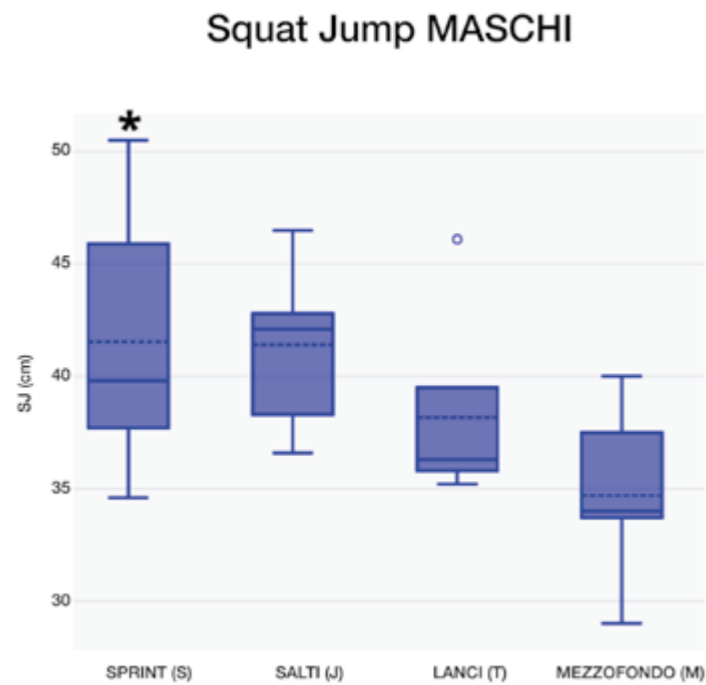


Figura 16 - box plot Squat Jump gruppo maschile

### Countermovement Jump MASCHI

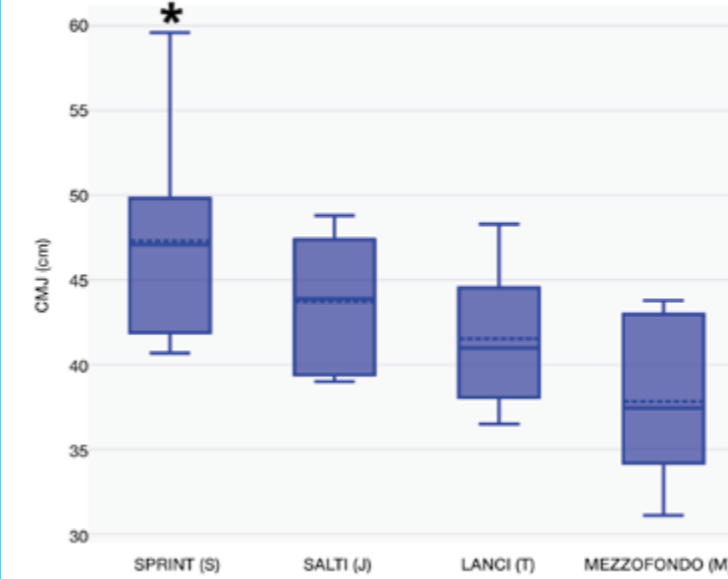


Figura 17 - box plot Countermovement Jump gruppo maschile

### Reactive Strength Index MASCHI

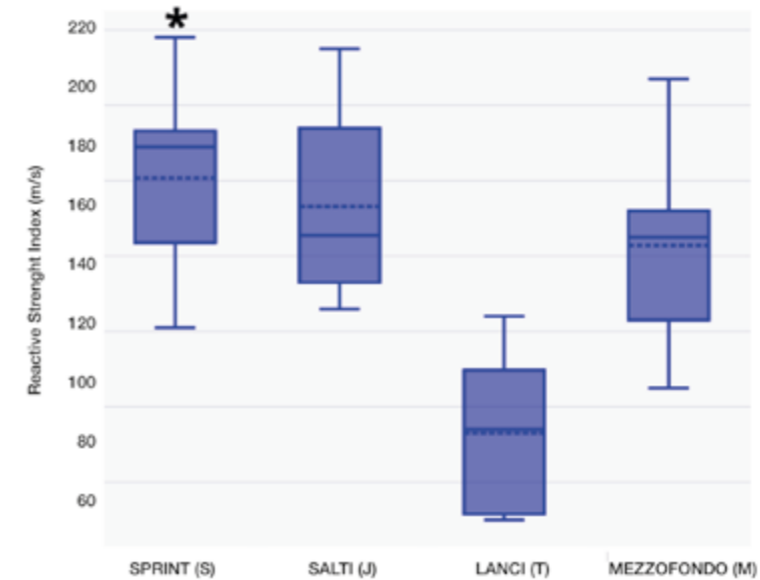


Figura 18 - box plot RSI gruppo maschile

### Lancio dorsale palla medica MASCHI

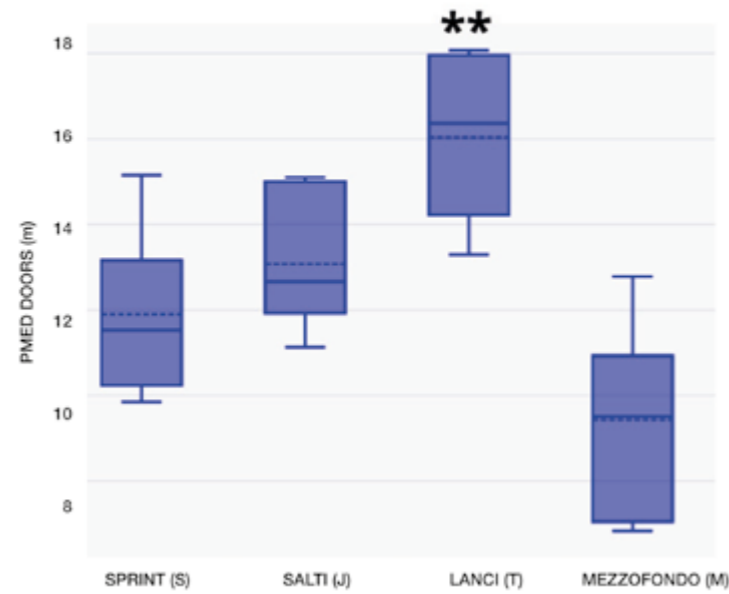


Figura 19 - box plot palla medica dorsale gruppo maschile

### Tempo 2000m MASCHI

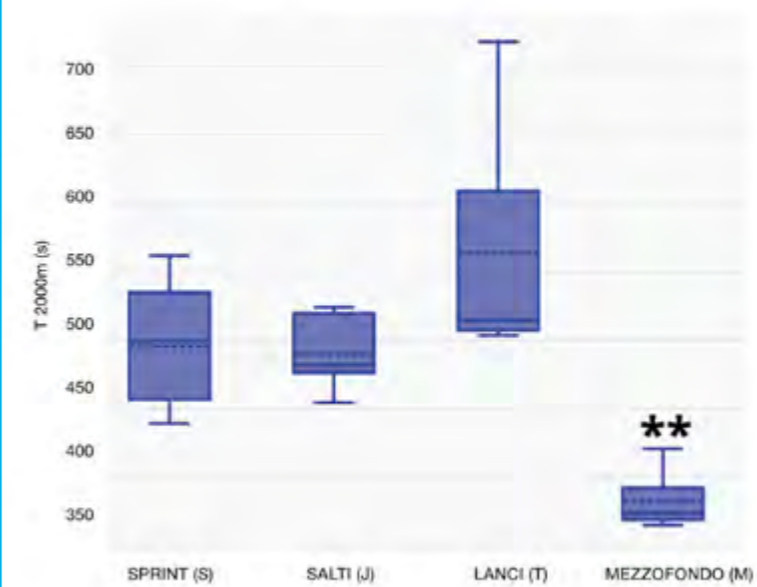


Figura 21 - box plot 2000m gruppo maschile

### Massimale panca piana MASCHI

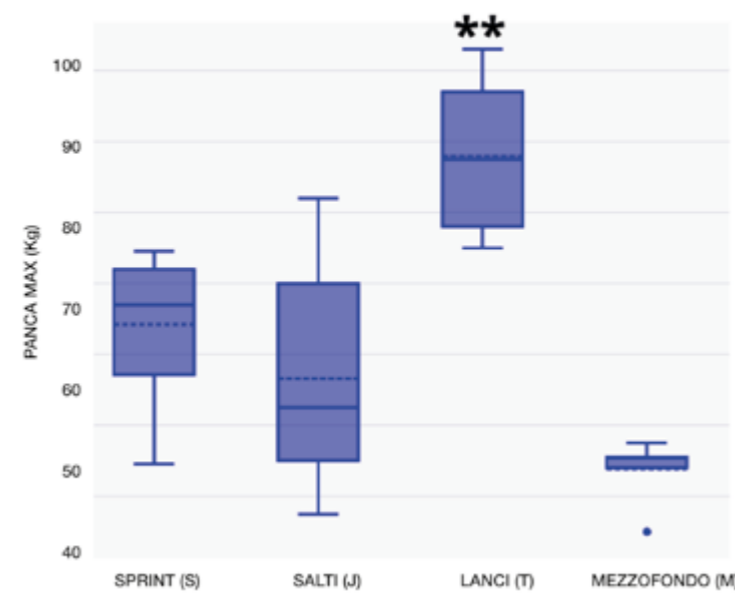


Figura 20 - box plot panca piana gruppo maschile

### 3.5 CORRELAZIONE PUNTEGGIO WA-MISURE ANTROPOMETRICHE

Nel paragrafo corrente sono riportate due tabelle contenenti le correlazioni statistiche osservate tra i punteggi WA, che indicano la miglior prestazione ottenuta dall'atleta nella sua carriera, e le caratteristiche antropometriche dello stesso. Sarà presentata una tabella per il genere femminile (tabella 20) e una per quello maschile (tabella 21). In ogni tabella sarà presente una colonna "totale" composta da tutti gli atleti presi in esame e le colonne delle singole aree di specialità.

Il test statistico utilizzato è il Coefficiente lineare di Pearson (r). Nella tabella i risultati presenteranno colori differenti: colore arancione indicante una correlazione superiore a 0.55 r (media correlazione nel campione preso in esame) e colore rosso indicante una correlazione superiore a 0.65 r (alta correlazione nel campione preso in esame). Sarà inoltre segnalata la significatività statistica con il P-value.

MASCHI	SPRINT n=7	SALTI n=6	LANCI n=5	MEZZOFONDO n=7	TOTALE n=24
ALTEZZA (m)	-0,38	0,72	0,31	-0,78	-0,17
PESO (kg)	0,16	0,37	0,76	-0,30	-0,12
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0,23	-0,13	0,59	0,10	-0,06
circ. PETTO (cm)	0,14	0,38	0,80	-0,49	-0,16
circ. VITA (cm)	0,54	0,22	0,52	0,26	-0,01
circ. ADDOME (cm)	0,42	0,19	0,49	-0,17	-0,11
circ. FIANCHI (cm)	0,11	-0,14	0,60	-0,65	-0,26
circ. COSCIA (cm)	-0,02	-0,22	0,63	-0,27	-0,18
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	0,03	-0,22	0,60	0,13	-0,09
circ. BICIPITE (cm)	0,18	0,30	0,99*	-0,38	-0,09

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01

Tabella 20 - correlazione punteggio WA- risultati antropometrici gruppo maschile

Il gruppo "totale" presenta valori minimi (range: da 0.0013 a 0.26) indicando una mancanza completa di relazione tra i valori antropometrici e la prestazione tabellare dell'atleta. Condizione di completa mancanza di relazione osservabile anche nel gruppo sprint (range: da -0.38 a 0.54). Il gruppo salti presenta una correlazione lineare nell'altezza, indicando come all'aumentare della statura aumenti, nel campione esaminato, la prestazione. Il mezzofondo presenta due correlazioni inverse; al diminuire del valore antropometrico

aumenta la prestazione nell'altezza e nella circonferenza fianchi. Il gruppo lanci presenta forti correlazioni lineari nel peso, nella circ. petto e nella circ. bicipite (\* P<0.05) e correlazioni medie con BMI, circ. fianchi, circ. coscia e circ. tricipite surale. Questi ultimi dati supportano le osservazioni riportate al paragrafo 3.1 e al paragrafo 3.3.

Di seguito sono riportati i grafici che evidenziano la relazione lineare nei test che hanno prodotto significatività statistica.

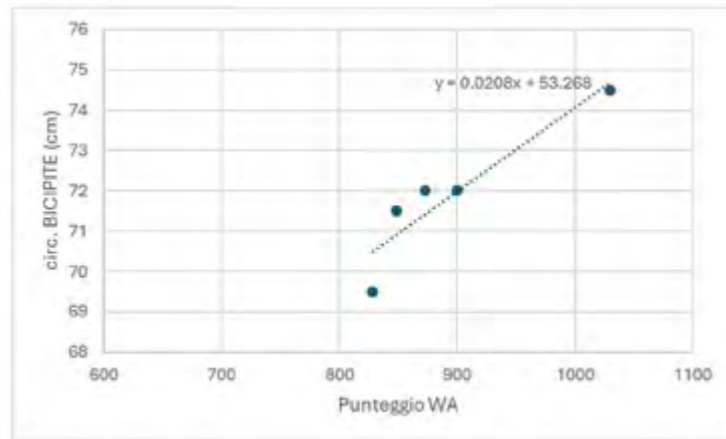


Figura 22 - line plot circ. bicipite genere maschile gruppo lanci

FEMMINE	SPRINT n=5	SALTI n=4	LANCI n=6	MEZZOFONDO n=3	TOTALE n=18
ALTEZZA (m)	-0,56	0,21	0,60	0,31	0,44
PESO (kg)	0,77	-0,15	0,81*	-0,92	0,26
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0,84	-0,29	0,86*	-0,97	0,06
circ. PETTO (cm)	0,93*	0,04	0,66	-0,12	0,07
circ. VITA (cm)	0,95*	0,46	0,51	0,38	0,11
circ. ADDOME (cm)	0,87	0,16	0,55	0,41	0,11
circ. FIANCHI (cm)	0,30	0,19	0,97**	-0,98	0,07
circ. COSCIA (cm)	0,60	0,69	0,88*	-0,89	0,12
circ. TRICIPITE SURALE (cm)	0,68	-0,35	0,64	-0,92	0,12
circ. BICIPITE (cm)	0,57	0,01	0,70	-0,96	0,03

\*P<0.05, \*\*P<0.01

Tabella 21- correlazione punteggio WA- risultati antropometrici gruppo femminile

Il gruppo "totale" presenta correlazioni poco rilevanti con valori compresi tra 0.44 e 0.06, indicando una mancanza di legame tra il punteggio tabellare World Athletics e la prestazione. La condizione muta nell'analisi differenziata per gruppo di specialità:

- Gruppo sprint: sono presenti due correlazioni statisticamente significative (\* P<0.05) con circ. petto e circ. vita. Evidenti sono anche le forti correlazioni lineari con peso, BMI, circ. addome e circ. tricipite surale e le correlazioni lineari medie con circ. coscia e circ. bicipite. Da attenzionare una correlazione lineare inversa di valore medio con l'altezza.
- Gruppo salti: presenta correlazione lineare forte con la circ. coscia.
- Gruppo lanci: sono quattro le correlazioni statisticamente significative; tre con P<0.05, ovvero peso, BMI, circ. coscia e una con P<0.01, circ. fianchi. Presente, inoltre, anche una forte correlazione con circ. bicipite e circ. petto e media correlazione con altezza, circ. addome e circ. tricipite surale.
- Gruppo mezzofondo: presenta molte forti correlazioni inverse, indicando come minor peso e circonferenze si correlino ad altre prestazioni. Tra queste riportiamo: peso, BMI, circ. fianchi, circ. coscia, circ. tricipite surale e circ. bicipite.

Queste correlazioni indicano nel genere femminile, rispetto al maschile, maggior relazione tra la prestazione tabellare WA e i dati antropometrici.

Di seguito sono riportati i grafici che evidenziano la relazione lineare nei test che hanno prodotto significatività statistica.

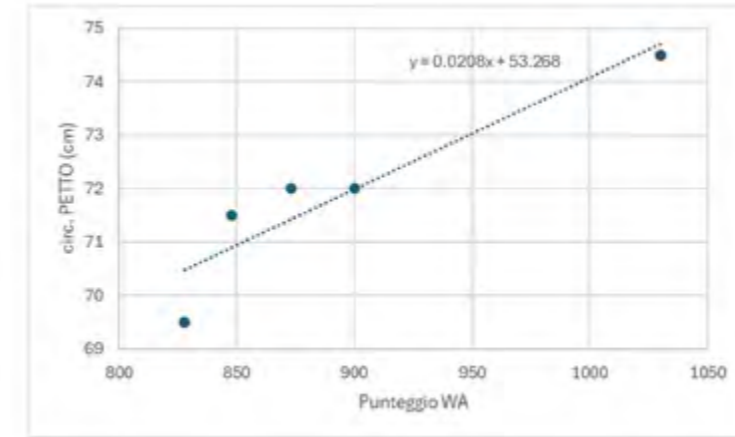


Figura 23 - line plot circ. petto genere femminile gruppo sprint

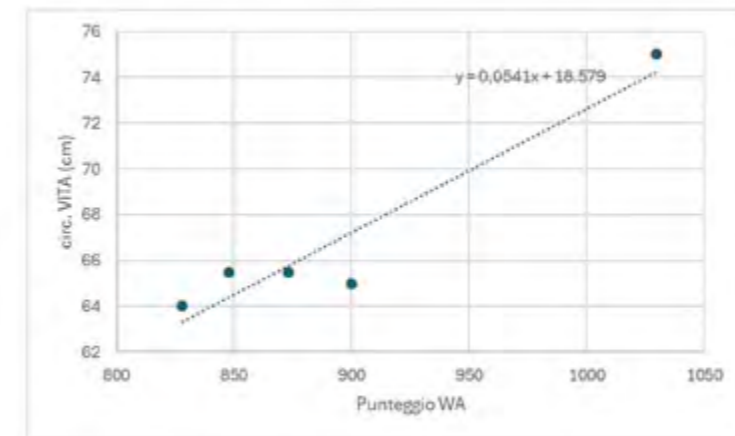


Figura 24 - line plot circ. vita genere femminile gruppo sprint

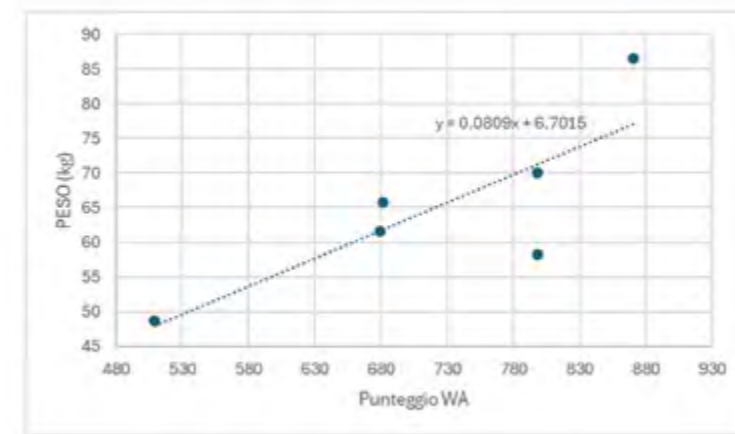


Figura 25 - line plot peso genere femminile gruppo lanci

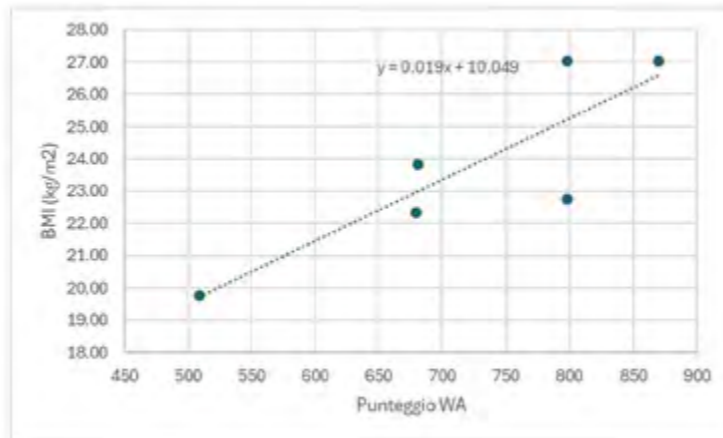


Figura 26 - line plot BMI genere femminile gruppo lanci

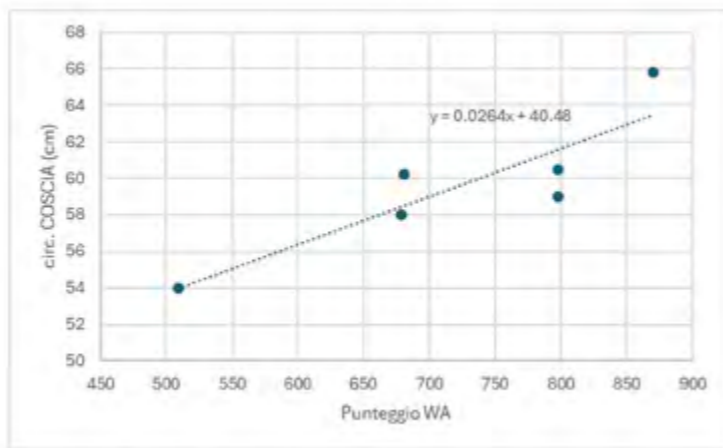


Figura 27 - line plot circ. coscia genere femminile gruppo lanci

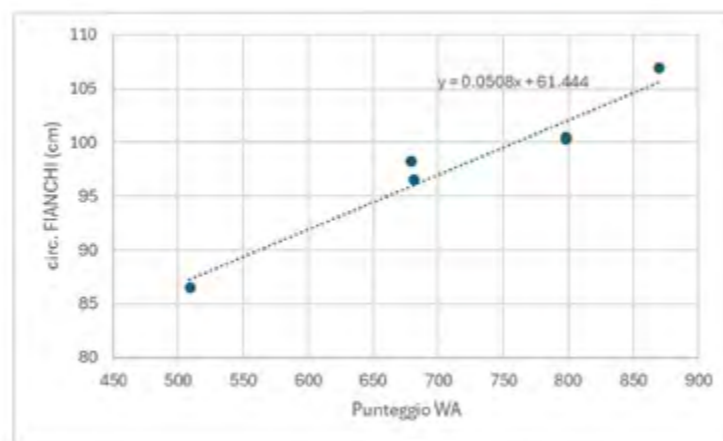


Figura 28 - line plot circ. fianchi genere femminile gruppo lanci

### 3.6 CORRELAZIONE PUNTEGGIO WA-RISULTATI DEI TEST ATLETICI

Nel paragrafo corrente sono espone due tabelle contenenti le correlazioni statistiche osservate tra i punteggi WA, che indicano la miglior prestazione ottenuta dall'atleta nella sua carriera, e i risultati prestativi ottenuti nei test. Sono presenti una tabella per il genere femminile (tabella 22) e una per quello maschile (tabella 23). In ogni tabella sarà presente una colonna "totale" composta da tutti gli atleti presi in esame e le colonne delle singole aree di specialità.

Il test statistico utilizzato è il Coefficiente lineare di Pearson (r). Nella tabella i risultati sono caratterizzati da colori differenti: colore arancione indicante una correlazione superiore a 0.55 r (media correlazione nel campione preso in esame) e colore rosso indicante una correlazione superiore a 0.65 r (alta correlazione nel campione preso in esame). Viene inoltre evidenziata la significatività statistica con il P-value.

MASCHI	SPRINT n=7	SALTI n=6	LANCI n=5	MEZZOFONDO n=7	TOTALE n=24
Squat Jump (cm)	-0,12	0,13	0,66	-0,25	0,08
Countermovement Jump (cm)	-0,25	-0,17	0,79	-0,08	0,08
Drop Jump 30cm (cm)	0,18	-0,48	0,48	0,05	0,07
Reactive Strength Index (m/s)	0,07	-0,56	-0,25	-0,08	0,15
Salto triplo alternato da fermo (m)	-0,02	-0,14	0,49	-0,20	0,09
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	0,12	-0,50	0,27	-0,25	0,02
Lancio frontale palla medica (m)	0,11	0,76	0,80	0,21	0,13
Lancio dorsale palla medica (m)	0,25	0,26	0,96**	-0,01	0,00
Massimale panca piana (Kg)	0,30	0,39	0,95*	-0,37	-0,08
Tempo 2000m (s)	0,01	-0,18	0,15	-0,68	-0,14

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01

Tabella 22 - correlazione punteggio WA- risultati prestativi gruppo maschile

Il gruppo "totale" presenta valori minimi (range: da -0.14 a 0.15) indicando una mancanza completa di relazione tra i risultati prestativi ottenuti nei test e la prestazione tabellare dell'atleta. Condizione di completa mancanza di relazione osservabile anche nel gruppo sprint (range: da -0.25 a 0.30). I salti presentano una forte correlazione lineare con il lancio frontale della palla medica (r= 0.76). Il mezzofondo presenta relazione lineare inversa (r= -0.68) con il test dei 2000m; il dato deve essere interpretato considerando che al diminuire del tempo sui 2000m si produce un aumento del punteggio WA. Il gruppo lanci presenta cinque forti correlazioni con Squat Jump (r= 0.66), Countermovement Jump (r= 0.79), palla medica frontale (r= 0.80), palla medica dorsale (r= 0.96) e panca piana (r= 0.95). Queste ultime due risultano anche statisticamente significative con P-value per il lancio frontale di <0.01 e di <0.05 per il massimale di panca piana. Di seguito sono riportati i grafici che evidenziano la relazione lineare nei test che hanno prodotto significatività statistica.

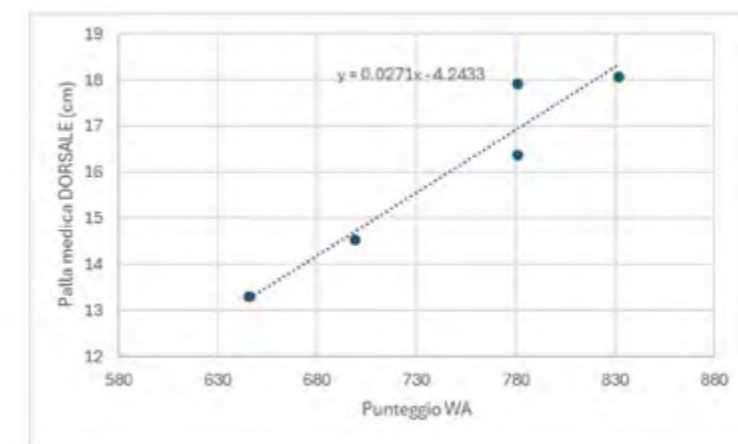


Figura 29 - line plot palla medica dorsale genere maschile gruppo lanci

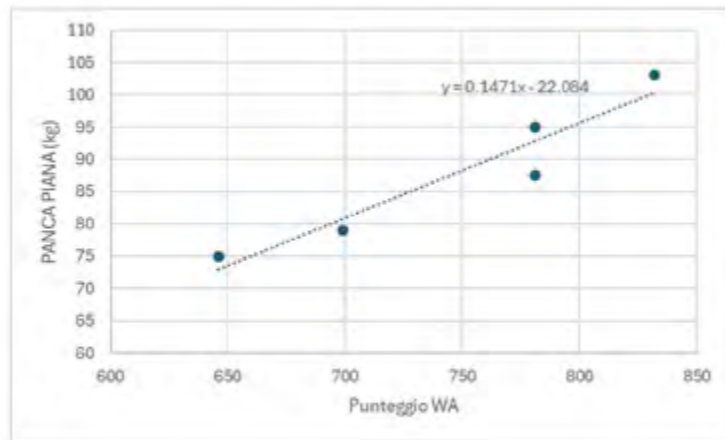


Figura 30 - line plot panca piana genere maschile gruppo lanci

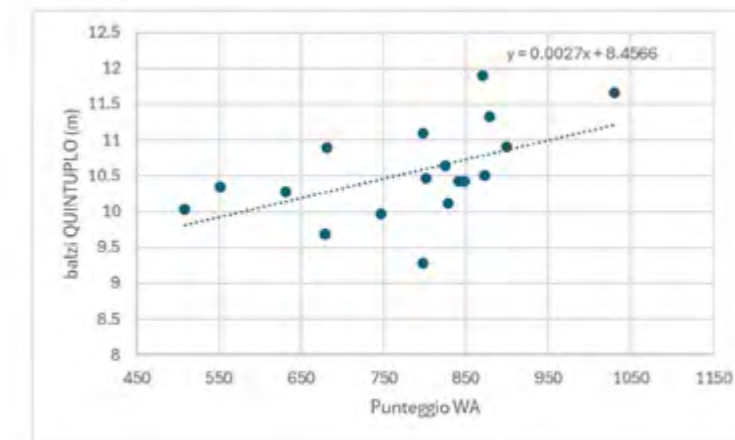


Figura 31 - line plot salto quintuplo alternato genere femminile gruppo totale

FEMMINE	SPRINT n=5	SALTI n=4	LANCI n=6	MEZZOFONDO n=3	TOTALE n=18
Squat Jump (cm)	0,57	0,83	0,38	-0,18	0,33
Countermovement Jump (cm)	0,78	0,81	0,39	-0,01	0,29
Drop Jump 30cm (cm)	-0,58	0,82	0,48	-0,43	0,35
Reactive Strength Index (m/s)	-0,06	0,21	-0,16	0,10	0,14
Salto triplo alternato da fermo (m)	0,97**	0,84	0,22	-0,21	0,30
Salto quintuplo alternato da fermo (m)	0,98**	0,61	0,44	-0,10	0,48*
Lancio frontale palla medica (m)	0,34	0,26	0,02	-0,86	-0,02
Lancio dorsale palla medica (m)	0,84	0,65	0,62	-0,33	0,16
Massimale panca piana (Kg)	0,91*	-0,11	0,94**	-0,33	0,29
Tempo 2000m (s)	0,92*	-0,37	0,16	-0,96	-0,16

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01

Tabella 23 - correlazione punteggio WA- risultati prestativi gruppo femminile

Il gruppo "totale" presenta una correlazione statisticamente significativa con il salto quintuplo alternato. Il gruppo mezzofondo presenta forti correlazioni lineari inverse con il tempo sui 2000m ( $r = -0.96$ ; dato da leggersi come indicato per il genere maschile) e sul lancio frontale della palla medica ( $r = -0.86$ ). I lanci producono media relazione con il lancio dorsale della palla medica ( $r = 0.62$ ) e forte con il massimale di panca piana ( $r = 0.95$ ;  $** P < 0.01$ ). Il gruppo salti correla i propri punteggi WA in modo elevato con Squat Jump ( $r = 0.83$ ), Countermovement Jump ( $r = 0.81$ ), Drop Jump 30cm ( $r = 0.82$ ), salto triplo alternato ( $r = 0.84$ ) e lancio dorsale della palla medica ( $r = 0.65$ ) e con correlazione media con il salto quintuplo alternato ( $r = 0.61$ ). Lo sprint presenta medie correlazioni con Squat Jump ( $r = 0.57$ ) e forti correlazioni con Countermovement Jump ( $r = 0.78$ ), lancio dorsale della palla medica ( $r = 0.84$ ), salto triplo alternato ( $r = 0.97$ ;  $** P < 0.01$ ), salto quintuplo alternato ( $r = 0.98$ ;  $** P < 0.01$ ), massimale panca piana ( $r = 0.91$ ;  $* P < 0.05$ ) e test 2000m ( $r = 0.92$ ;  $* P < 0.05$ ), valore da leggersi considerando che all'aumentare del punteggio WA aumenta il tempo di percorrenza dei 2000m.

Queste correlazioni indicano nel genere femminile, rispetto al maschile, maggior relazione tra la prestazione di gara e le prestazioni ottenute nei test fisici.

Di seguito sono riportati i grafici che evidenziano la relazione lineare nei test che hanno prodotto significatività statistica.

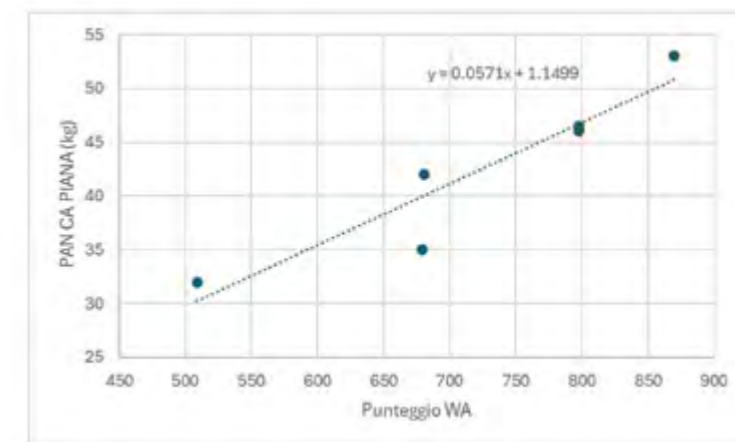


Figura 32 - line plot panca piana genere femminile gruppo lanci

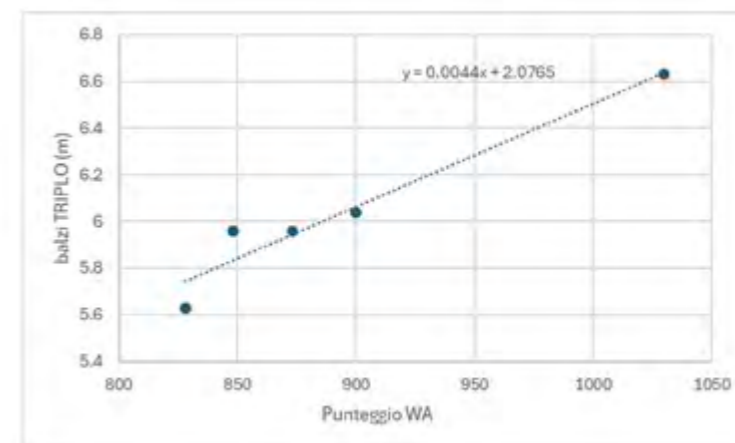


Figura 33 - line plot salto triplo alternato genere femminile gruppo sprint

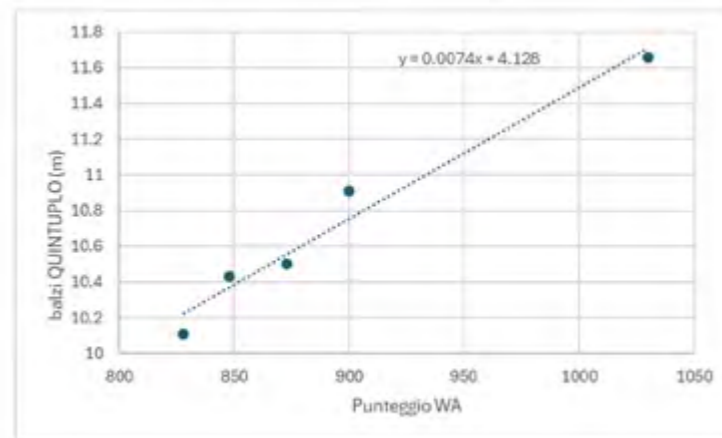


Figura 34 - line plot salto quintuplo alternato genere femminile gruppo sprint

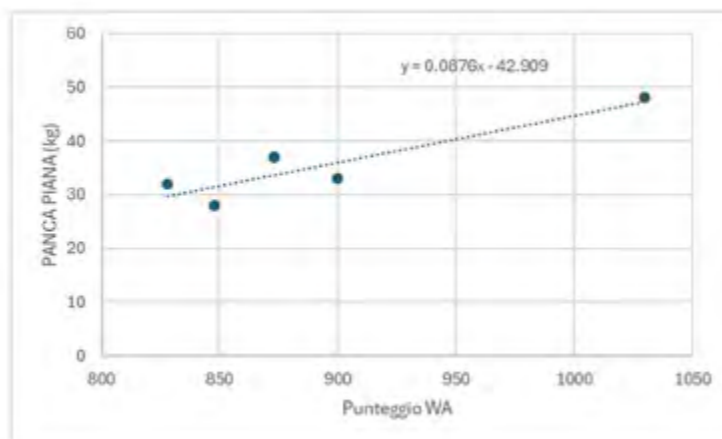


Figura 35 - line plot panca piana genere femminile gruppo sprint

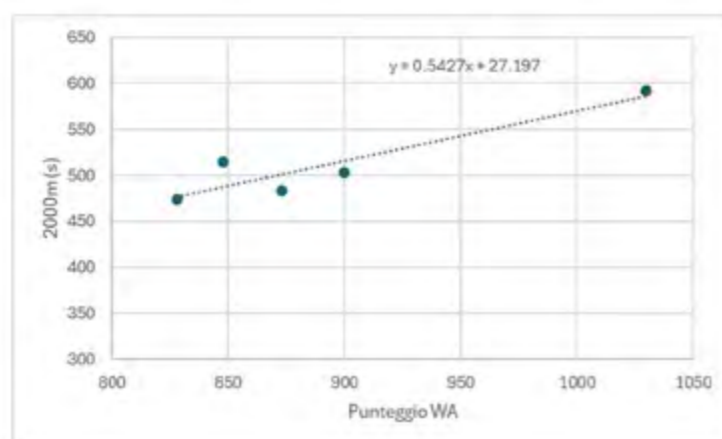


Figura 36 - line plot salto 2000m genere femminile gruppo sprint

## 4. DISCUSSIONE

### 4.1 ANALISI DATI ANTROPOMETRICI

I dati antropometrici raccolti permettono una valutazione accurata dei quattro gruppi di atleti presi in esame al fine di fare emergere alcune caratteristiche antropometriche peculiari dei singoli gruppi.

Il totale degli atleti a genere aggregato, esposto in tabella 14, evidenzia delle differenze statistiche rilevanti tra i quattro gruppi. I lanci si presentano significativamente superiori rispetto a sprint, salti e mezzofondo, nel peso (\*\* P<0.01), BMI (\*\* P<0.001), circ. fianchi (\*\* P<0.001), circ. coscia (\*\* P<0.001), circ. tricipite surale (\*\* P<0.01) e bicipite brachiale (\*\* P<0.01). Inoltre, lo stesso gruppo è statisticamente superiore nella circ. vita ai saltatori e nella circ. addominale a salti e sprint.

Le differenze rilevanti del gruppo lanci permangono nella valutazione dei gruppi a genere separato. Il totale degli atleti di genere femminile, esposti in tabella 15, evidenzia una differenza statistica rilevante a favore del gruppo lanci rispetto ai salti nel BMI (\* P<0.05), nella circ. vita (\* P<0.05) e nella circ. coscia (\* P<0.05). I lanci si differenziano inoltre dal mezzofondo per circ. coscia (\* P<0.05) e circ. bicipite brachiale (\* P<0.05). Il genere maschile, esposto alla tabella 16, evidenzia: lanci superiori a sprint nel peso (\* P<0.05), nella circ. fianchi (\*\* P<0.01) e nella circ. del tricipite surale (\* P<0.05); lanci superiori a salti in BMI (\* P<0.05), circ. fianchi (\*\* P<0.01) e circ. cosce (\* P<0.05); lanci superiori a mezzofondo nella circ. petto (\* P<0.05), circ. vita (\* P<0.05), circ. coscia (\* P<0.05) e circ. bicipite brachiale (\* P<0.05).

I dati sembrerebbero identificare quindi uno sviluppo fisico superiore dei lanciatori rispetto alle altre categorie nel campione preso in esame. Il BMI e il peso indicano masse corporee più sviluppate e si riflettono direttamente sulle circonferenze corporee misurate, condizione in accordo allo studio di Herrera-Amante et. al. (Herrera-Amante, 2025) e di Kamath et. al. (Kamath, 2024), dove si ritrovano differenze rilevanti tra i lanciatori e le altre specializzazioni, e riconoscendo i lanciatori come individui alla ricerca dell'aumento delle masse muscolari per la generazione di maggior forza e potenza. Nelle ricerche si definisce il somatotipo dei lanciatori come endomorfo-mesomorfo (corporatura robusta e sviluppata, maggiori masse muscolari, tendenza all'accumulo di adipe) differente da sprinter e saltatori, più aderenti al somatotipo ectomorfo-mesomorfo, e ai mezzofondisti ectomorfi (struttura esile, longilinei, bassa componente adiposa).

La correlazione ricercata tra le misurazioni antropometriche e il punteggio World Athletics, ritrovabili alle tabelle 20 e 21, ha, inoltre, evidenziato come alcune aree di specializzazione si correlino fortemente al livello dell'atleta (più il punteggio è elevato maggiore è il valore sportivo dell'atleta).

Nel genere maschile il gruppo salti evidenzia correlazione forte (r=0.72) con l'altezza, ricalcando il somatotipo presentato in precedenza. Il mezzofondo presenta due forti correlazioni inverse: altezza (r=-0.78) e la circ. fianchi (r=-0.65). La prima si pone in antitesi alla struttura longilinea degli atleti di mezzofondo, mentre la seconda supporta la tesi della struttura esile (Kamath, 2024). Il gruppo che presenta maggiori correlazioni è quello dei lanci: la circ. del bicipite presenta una correlazione di r=0.99 e viene inoltre considerata significativamente rilevante con P-value<0.05; il BMI (r=0.58), la circ. fianchi (r=0.60), la circ. coscia (r=0.63) e la circ. del tricipite surale (r=0.60) si correlano mediamente; mentre il peso (r=0.76) e la circ. del petto (r=0.80) si correlano fortemente. Questi dati confermano la struttura fisica maggiormente sviluppata negli atleti élite di lancio (Herrera-Amante, 2025 - Kamath, 2024).

Le analisi condotte sulle aree di specializzazione di genere femminile evidenziano caratteristiche antropometriche peculiari specialmente nei gruppi sprint, lanci e mezzofondo. Lo sprint presenta due correlazioni statisticamente rilevanti con P-value<0.05 nella circ. petto e vita, quattro correlazioni forti nel peso (r=0.77), BMI(r=0.84), circ. fianchi (r=0.87) e circ. tricipite surale (r=0.68) e tre correlazioni di media intensità con circ. coscia (r=0.60), circ. bicipite (r=0.57) e altezza (r= -0.56; quest'ultima con correlazione inversa). I salti presentano correlazione forte (r=0.69) con la circ. della coscia. Il gruppo lanci presenta quattro correlazioni statisticamente rilevanti, quali: peso (P<0.05), BMI (P<0.05), circ. coscia (P<0.05) e circ. fianchi (P<0.01). Inoltre, lo stesso gruppo presenta correlazioni forti con la circ. del bicipite (r=0.70) e del petto (r=0.66) e medie con l'altezza (r=0.60), la circ. addome (r=0.55) e del tricipite surale (r=0.64). Il mezzofondo presenta correlazioni forti inverse con peso (r= -0.92), BMI (r= -0.97), circ. fianchi (r= -0.98), circ. coscia (r= -0.89), circ. tricipite surale (r= -0.92) e circ. bicipite brachiale (r= -0.96). I valori, appena presentati, dimostrano come nel campione preso in analisi per l'elaborato, le velociste, le lanciatrici e in parte anche le saltatrici, tutte atlete raggruppabili in discipline di potenza, presentino circonferenze corporee, soprattutto a livello degli arti inferiori, molto correlate alla prestazione, mentre le mezzofondiste presentino una maggior prestazione in condizioni di riduzione del peso e delle circonferenze.

I risultati emersi dall'analisi campione preso in esame sembrano quindi in accordo con la letteratura (Herrera-Amante, 2025 - Kamath, 2024) indicando masse muscolari più voluminose e corporature fisiche più strutturate nei lanciatori e nelle discipline di potenza rispetto a quelle di resistenza.

Interessante è osservare come anche la circ. del petto e del bicipite brachiale si correlino, sia al maschile che al femminile.

#### 4.2 ANALISI DEI RISULTATI DEI TEST ATLETICI

L'analisi dei risultati registrati nei test atletici dai quattro gruppi di atleti permette di valutare le differenze statistiche e le correlazioni con le prestazioni ottenute in competizione al fine di riconoscere test predittivi per l'area di specializzazione adatta al giovane atleta.

Considerando i gruppi a genere "aggregato", come osservabile in tabella 17, sono presenti quattro differenze statisticamente rilevanti. L'RSI (Reactive Strength Index) identifica una differenza tra il gruppo sprint e lanci (P-value= 0.01). I lanciatori si differenziano dai mezzofondisti nel lancio della palla medica dorsale (P-value= 0.0053) e nel massimale di panca piana (P-value= 0.042). Il tempo sui 2000m differenzia i mezzofondisti rispetto agli altri atleti considerabili di potenza con una significatività molto alta (P-value= 0.00000034). L'RSI migliore nel gruppo velocisti rispetto ai lanciatori osservato nel campione considerato, sembra poter essere concorde alle evidenze scientifiche riportate nella review e meta-analisi di Jarvis et al. (2022), dove si evidenzia una correlazione di media entità tra un alto valore di RSI con l'accelerazione e la velocità massima di sprint, specificando però come la correlazione diventi minore nei soggetti élite, come anche confermato da Healy (2019). La medesima ricerca ipotizza una correlazione più forte dell'RSI nella versione orizzontale che più si addice alla ricerca dell'impulso e della produzione della forza in senso orizzontale tipica dello sprint, considerando quindi le "azioni di balzo" come potenziali indicatori di prestazione. La differenza presente tra i lanciatori e i mezzofondisti nel lancio della palla medica (P-value= 0.0053) e del test della panca piana (P-value= 0.042) massimale, classifica una differenza chiara nell'espressione di forza. Non si riscontrano differenze tra i gruppi sprint, salti e lanci, ponendosi in contrasto con la ricerca svoltasi in Giappone per la ricerca della predittività dei test atletici in atleti adulti di élite (Kazuhiro e Aoki, 2015), dove si riscontravano differenze anche nei tre "gruppi di potenza". Il tempo sui 2000m classifica i mezzofondisti come popolazione statisticamente differente rispetto alle altre tre aree, evidenziando una netta differenza tra attività di potenza e di resistenza.

L'analisi a genere differenziato mostra differenze statisticamente rilevanti sia al femminile che al maschile. Il genere femminile presenta differenze significative, riscontrabili nella tabella 18, nel lancio dorsale (P-value= 0.015) e frontale della palla medica (P-value= 0.012) a favore del gruppo lanci sul gruppo mezzofondo,

Getto del peso, Campionati italiani indoor Allievi, Ancona 2026



e viceversa nel test sui 2000m (P-value= 0.0032). I risultati sembrano ricalcare le osservazioni esposte per il gruppo a genere aggregato. Anche nel campione femminile non si osservano differenze tra i gruppi di potenza, ponendosi in contrasto con i test eseguiti su atleti adulti (Kazuhiro e Aoki, 2015).

I risultati esposti nella tabella 19, presentano le differenze significative osservabili tra i gruppi di genere maschile. I velocisti sono statisticamente differenti e superiori ai mezzofondisti nel Countermovement Jump (P-value= 0.042) e ai lanciatori nell'RSI (P-value= 0.018). I lanciatori si differenziano nel lancio dorsale della palla medica (P-value= 0.0049) e nel massimale di panca piana (P-value= 0.0023) dai mezzofondisti. Questi ultimi sono significativamente differenti dai lanciatori nel test dei 2000m (P-value= 0.0032). Inoltre, il gruppo sprint è significativamente performante nello Squat Jump rispetto agli altri gruppi (P-value= 0.031). Il valore dell'RSI ricalca i dati osservati sul campione a genere aggregato. Il massimale di panca piana statisticamente maggiore nei lanci, sembra in accordo nel considerare la forza massima prodotta nello stacco da terra, nello squat e nella panca, come una componente fondamentale e discriminante nei lanciatori (Žuvela, 2024), soprattutto negli atleti che hanno a che fare con attrezzi pesanti quali martello, disco e peso, come quelli presenti nella popolazione presa in esame. La differenza osservata nel Countermovement Jump tra il gruppo mezzofondo e il gruppo sprint, a favore di quest'ultimo, concorda con l'efficacia del test CMJ di riscontrare maggiori altezze di salto in velocisti di élite (Beattie, 2020).

Le correlazioni tra il punteggio tabellare World Athletics riferito alla miglior prestazione ottenuta in competizione e i valori ottenuti nei test atletici sono discusse di seguito.

L'analisi sulle categorie di genere maschile non evidenzia correlazioni nel gruppo sprint. Il cluster salti presenta alta correlazione nel lancio frontale della palla medica (r=0.76). In uno studio giapponese (Aoki e Kohmura, 2007) svoltosi su atleti maschi universitari, si è osservata la medesima correlazione tra i saltatori (salto in lungo e salto triplo) e lancio frontale, dato però in contrasto con un ulteriore studio su atleti adulti (Kazuhiro e Aoki, 2015). I lanciatori presentano numerose correlazioni: palla medica dorsale e panca piana ottengono valori statisticamente significativi (palla medica dorsale p<0.01; panca piana p<0.05), mentre Squat Jump (r=0.66), Countermovement Jump (r=0.79) e il lancio frontale della palla medica (r=0.80) presentano alti valori di dipendenza.

I valori di lancio dorsale e frontale sono in linea a quelli osservati negli atleti adulti specializzati (Kazuhiro e Aoki, 2015). La significatività statistica ottenuta nella panca piana conferma le evidenze scientifiche che negli anni hanno evidenziato forte correlazione tra la prestazione di gara e la forza massima negli atleti di lancio (Terzis, 2012 - Judge, 2012). I valori di alta correlazione con lo Squat Jump e il Countermovement Jump potrebbero essere spiegati al forte legame tra i test di Bosco e l'espressione di forza degli arti inferiori necessaria nell'azione di lancio. Inoltre, è stata dimostrata correlazione tra il Countermovement Jump e la prestazione di lancio in periodo competitivo; i dati del presente elaborato raccolti nel periodo preparatorio sembrano però entrare in contrasto con il presente articolo che indicava bassa correlazione in periodo "pre-season" (Kyriazis, 2009). Nel gruppo mezzofondo si osserva una forte correlazione inversa (r= -0.68) con il test dei 2000m, indicando come gli atleti più forti in competizione siano i più veloci a coprire la distanza dei 2000m.

I gruppi femminili analizzati hanno prodotto differenti risultati rispetto al genere maschile. Il gruppo sprint che a livello maschile non aveva prodotto valori di interesse, al femminile evidenzia dati interessanti: lo Squat Jump mostra una modica correlazione (r=0.57) e il Countermovement Jump una alta, pari a r=0.78. Risultati che vengono supportati anche in letteratura (Kale, 2009), dove si indicano i test di Bosco come ottimi indicatori della prestazione di sprint. I balzi tripli e quintupli alteranti presentano significatività statistica con p<0.01, indicando una solida correlazione. Questi rapporti di dipendenza stretti sono riscontrabili anche nella ricerca eseguita su soggetti élite adulti (con correlazione di p<0.05) (Kazuhiro e Aoki, 2015), nello studio della University of Tartu (Misjuk, 2007), che evidenzia elevata correlazione tra lo sprint e salto quintuplo e dalla pubblicazione di Jarvis et al. (2022), secondo cui, in atleti di alto livello ci sia maggior legame con l'RSI orizzontale, riscontrabile anche nei balzi. Il salto quintuplo presenta significatività anche nel gruppo totale di atlete analizzate, evidenziando come le componenti di stiffness tendinea siano correlate alle discipline di potenza ma anche di mezzofondo. La correlazione del lancio della palla medica dorsale si attesta a r=0.84, dato in linea con l'osservazione sugli atleti evoluti (Kazuhiro e Aoki, 2015). Interessante osservare due dati significativamente rilevanti con p<0.05 nel massimale della panca piana e nel tempo dei 2000m. Il massimale correlato fortemente alla prestazione potrebbe evidenziare una struttura fisica marcata e un alto livello di forza massima generale delle velociste. Il tempo sui 2000m sembra indicare che le velociste maggiormente performanti in gara siano le più lente nei 2000m, identificando una profonda differenza tra le discipline di endurance e quelle di potenza. Anche il gruppo salti, che aveva ottenuto una sola correlazione nel genere maschile, al femminile presenta numerose correlazioni. I test di Bosco, quali Squat Jump, Countermovement Jump e Drop Jump 30cm presentano valori rispettivamente di r=0.83, r=0.81 e r=0.82. Valori

che identificano come sia necessaria ai saltatori, come anche negli altri atleti, un'alta componente di fibre 2A, dette comunemente veloci (Fast Twitch Fibers; FT) e alta capacità di utilizzo dell'effetto pre-stretch, tipico dello Stretch-Shortening Cycle (SSC), tipiche condizioni valutabili nello SJ, nel CMJ e anche nel DJ (Kong, 2022). Si osserva alta correlazione nei balzi tripli ( $r=0.84$ ) e media nei quintupli ( $r=0.61$ ). Risultati che ricalcano le osservazioni espresse per il gruppo sprint femminile. Di interesse è, inoltre, osservare come sia presente una correlazione forte con  $r=0.65$  nel lancio dorsale della palla medica: condizione non osservata nel genere maschile, dove la correlazione era elevata nel lancio frontale. Le correlazioni del gruppo lanci presentano media correlazione di  $r=0.62$  nel lancio dorsale della palla medica e significatività statistica con  $p<0.01$  nel massimale di panca piana. Le lanciaatrici presentano valori in linea con le osservazioni presentate nel genere maschile. Per il gruppo mezzofondo la correlazione negativa con il lancio frontale indica una minor espressione di forza, probabilmente dovuta a masse muscolari meno voluminose, come osservabile al paragrafo 4.1. Correlazione negativa anche con il test dei 2000m indicano come le atlete con maggior punteggio tabellare impiegano meno tempo a coprire la distanza proposta.

## 5. CONCLUSIONI

Lo scopo dell'elaborato è quello di identificare un metodo scientifico e oggettivo che possa, tramite la definizione di una batteria di valutazione atletica composta da test estrapolati dalla letteratura scientifica attuale, ricercare le peculiarità di ciascuna area di specializzazione, al fine di definire una batteria di test che sia utile a tecnici, dirigenti e selezionatori per riconoscere l'area di specializzazione atletica più aderente al giovane atleta. Per raggiungere l'obiettivo dello studio, 42 atleti di genere maschile e femminile con età compresa tra i 15 e i 17 anni considerati già specializzati (con raggiungimento di un minimo per i campionati italiani e un punteggio pari o superiore ai 550 punti tabellari), sono stati classificati nelle quattro aree di specializzazione sprint, salti, lanci e mezzofondo, e si sono valutate le differenze statistiche tra i gruppi e le correlazioni tra i punteggi tabellari e le prestazioni ottenute.

La misurazione antropometrica sembra indicare come il gruppo lanci, sia nella modalità aggregata sia differenziata in maschile e femminile, presenti una "fisicità superiore", indicando come essa sia necessaria all'espressione di forza e potenza utili nell'azione di lancio. Questa conclusione si accompagna anche all'osservazione delle correlazioni dei dati antropometrici-prestazione in competizione, dove si osserva elevata connessione con il peso, il BMI e le varie circonferenze dell'arto superiore, dell'arto inferiore e del tronco. Le correlazioni sembrano essere più marcate nel genere femminile e nel gruppo lanci maschile. Nel genere femminile, infatti, sembrano essere definite delle peculiarità, quali: nello sprint masse muscolari maggiori (riflesse dalle circonferenze corporee), nei salti masse muscolari maggiori a livello della coscia per la produzione di forza nella fase di stacco e nel mezzofondo un ridotto peso e ridotte circonferenze, indicanti una struttura fisica esile, utile ad una miglior economia di corsa. Le correlazioni maggiori osservate al femminile potrebbero derivare da uno sviluppo fisico anticipato rispetto ai maschi. La presenza anticipata del picco di crescita (PHV) può essere dunque la spiegazione all'osservazione di un campione femminile già considerevole composto da atlete adulte rispetto al maschile, che presenta dati che non ci permettono di giungere a conclusioni, ad eccezione del gruppo lanci. Potrebbe essere quindi concluso che l'analisi dei valori antropometrici in atleti cadetti/e e allievi/e possa essere utile nella ricerca della specializzazione nel genere femminile.

La valutazione dei valori ottenuti nei test atletici sembra identificare una profonda divisione tra i "gruppi di potenza" (sprint, salti, lanci) e il gruppo di resistenza (mezzofondo). Infatti, l'osservazione delle differenze tra i gruppi, sia in modalità a genere aggregato che differenziato, ha evidenziato differenze tra i due macro-gruppi (Gruppo totale: lanci maggiore del mezzofondo in lancio dorsale, massimale panca piana; lanci minore del mezzofondo nei 2000m. Gruppo femminile: lanci maggiore del mezzofondo in lancio dorsale e frontale; lanci minore del mezzofondo nei 2000m. Gruppo maschile: sprint maggiore del mezzofondo in CMJ e RSI; lanci maggiore del mezzofondo in lancio dorsale, frontale e massimale panca; lanci minore del mezzofondo nei 2000m). Non sembrano evidenziarsi grandi differenze tra i gruppi salti, sprint e lanci, entrando in contrasto con lo studio che ha animato la presente ricerca (Kazuhiro e Aoki, 2015). Le uniche differenze sembrerebbero indicare sprint maggiore dei lanci nell'RSI sul totale degli atleti e sprint maggiore agli altri insiemi nel genere maschile nello SJ. Le correlazioni tra il punteggio tabellare WA, indicante il valore tecnico della prestazione ottenuta in competizione dal singolo, e i valori osservati nei test atletici nel genere maschile, sembrerebbero indicare come il lancio della palla medica frontale sia predittivo nel gruppo salti; il lancio dorsale, il lancio frontale, il massimale di panca, SJ e CMJ siano predittivi nel gruppo lanci; e come i 2000m siano predittivi del mezzofondo. Valori, nei lanciatori (lancio dorsale, frontale e massimale panca) e nei saltatori (lancio frontale), in linea con la ricerca svolta in atleti adulti (Kazuhiro e Aoki, 2015). Nel gruppo femminile le correlazioni sono maggiori: SJ, CMJ, salto triplo, salto quintuplo, lancio dorsale e

massimale di panca sembrano essere predittivi nel gruppo sprint; SJ, CMJ, DJ 30cm, salto triplo e quintuplo sembrerebbero predire il gruppo salti; il lancio dorsale e il massimale di panca predittori del gruppo lanci e i 2000m predittori del mezzofondo. Valori, nei velocisti (triplo, quintuplo, lancio dorsale) e nei lanciatori (lancio dorsale e massimale panca), in linea con la ricerca svolta in atleti adulti (Kazuhiro e Aoki, 2015). I risultati del gruppo salti femminile (triplo e quintuplo) sembrano porsi in contrasto con lo studio (Kazuhiro e Aoki, 2015).

Sembra dunque come la batteria di test riconosca alcune caratteristiche individuali delle varie categorie permettendo, tramite un suo utilizzo, una discriminazione delle qualità del giovane, quindi permettendo una corretta individuazione dell'area di specializzazione. La predittività, sembra, dai dati osservati nel campione analizzato, sia maggiore per genere femminile. Conclusione che può essere supportata dal raggiungimento precoce delle femmine rispetto ai maschi del PHV (picco di crescita), momento in cui l'individuo è maggiormente formato e le sue caratteristiche si evidenziano marcatamente. Sarebbe consigliato mantenere, quindi, ancora una buona base multilaterale nel genere maschile nella categoria Allievi, per poi introdurre una specializzazione nella categoria Juniores (dopo i 18 anni). Nel genere femminile sembra invece come la specializzazione possa essere introdotta nella categoria Allievi.

La ricerca della specializzazione, come ampiamente documentato nel capitolo "scopo dell'elaborato", è un processo delicato, che può essere lo strumento di valorizzazione o di "distruzione" del giovane atleta. L'utilizzo di una metodica strumentale, oggettiva, che si basi su dati antropometrici e atletici, rendendo il processo più individualizzato possibile, è quindi da incoraggiarsi in tecnici, dirigenti e gruppi sportivi. La batteria prodotta con eventuali sue integrazioni e perfezionamenti può fungere quindi da strumento valido, a basso impatto economico e facilmente replicabile sul campo, per individuare caratteristiche dei giovani atleti.

Futuri studi potrebbero implementare il numero di atleti testati affinché si possano confermare le evidenze sopra riportate. Per svolgere questa implementazione sarebbe di interesse collaborare con enti e federazioni territoriali sottoponendo la batteria ad atleti di medio-alto livello della categoria cadetti al secondo anno e alla categoria Allievi.

## BIBLIOGRAFIA

1. AMSSM Collaborative Research Network Youth Early Sport Specialization Summit (2021). Current Sport Organization Guidelines From the AMSSM 2019 Youth Early Sport Specialization Research Summit. [Articolo scientifico]
2. Aoki, Kohmura, Nakamaru, Koshikawa, Yoshigi. (2007) The Relationship Between Jump Performance and Test Battery in University Male Jumpers. [articolo scientifico]
3. Bagnoli R. (2022) Jean Coté Dal Modello Di Sviluppo Atletico Alla Leadership Trasformativa. [Rapporto]
4. Baker, J., Wattie, N., & Schorer, J. (2015). Defining expertise: A taxonomy for researchers in skill acquisition and expertise. [Articolo scientifico]
5. Baker, Wilson, Johnson, Deghghansai, Könisberg, De Vegt, Wattie. (2020). Talent Research in Sport 1990-2018: A Scoping Review. [Articolo scientifico]
6. Baker J., Schorer J., Wattie N. (2017). Compromising Talent: Issues in Identifying and Selecting Talent in Sport. [Articolo scientifico]
7. Balyi, Way, Higgs, Norris, Cardinal. (2016). Sport for life: long-term athlete development resource. [Libro]
8. Barth M, Güllich A, Macnamara BN, Hambrick DZ. (2024). Quantifying the extent to which junior performance predicts senior performance in olympic sports: a systematic review and meta-analysis. [Articolo scientifico]
9. Beattie, Tawiah-Dodoo, Graham-Smith. (2020) Countermovement Jump Characteristics of World-Class Elite and Sub-Elite Male Sprinters. [Articolo scientifico]
10. Bell D., DiStefano L., Pandya N., McGuine T. (2019). The Public Health Consequences of Sport Specialization. [Articolo scientifico]
11. Bell DR., Lang PJ., Valovich McLeod TC. (2018). Sport specialization is associated with injury history in youth soccer athletes. [Articolo scientifico]
12. Boccia G., Brustio PR. (2021) Corrective procedures remove relative age effect from world-class junior sprinters. [Articolo scientifico]
13. Boccia G., Cardinale M., Brustio PR. (2020). World-Class Sprinters' Careers: Early Success Does Not Guarantee Success at Adult Age. [Articolo scientifico]
14. Boccia G., Cardinale M., Brustio PR. (2021) Performance progression of elite jumpers: Early performances do not predict later success. [Articolo scientifico]

15. Boccia G., Cardinale M., Brustio PR. (2021). Elite Junior Throwers Unlikely to Remain at the Top Level in the Senior Category. [Articolo scientifico]
16. Bompa T.O. (1999). Total Training for Young Champions. Proven conditioning programs for athletes ages 6 to 18. [Libro]
17. Bosco C. (2002). La valutazione della forza con i test di Bosco. [libro]
18. Brzycki M. (1993) Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue [articolo scientifico]
19. Campbell E., Irving R., Poudevigne M., Dilworth L., McFarlane S., Ismail O., Bailey J. (2019) Contextual factors and sporting success: The relationship between birth date and place of early development on the progression of Jamaican track and field athletes from junior to senior level. [Articolo scientifico]
20. Dell'angelo A., Uberti A. (2020) Allenamento giovanile, multilateralità o specializzazione. [Rapporto]
21. Downing C., Redelius k., Nordin-Bates S. (2020). An Index Approach to Early Specialization Measurement: An Exploratory Study. [Articolo scientifico]
22. ED., Roseman JM. (2001). Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. [Articolo scientifico]
23. Federazione Italiana Di Atletica Leggera. (2025). Norme e attività. [Regolamento]
24. Güllich A., Emrich E. (2006). Evaluation of the support of young athletes in the elite sport system. [Articolo scientifico]
25. Gullich, A. (2007). Training - Support - Success: Control-related assumptions and empirical findings. [Articolo scientifico]
26. Haff G., Triplett T. (2012) Essentials of Strength Training and Conditioning [libro]
27. Helay, Smyth, Kenny, Harrison. (2019) Influence of Reactive and Maximum Strength Indicators on Sprint Performance. [articolo scientifico]
28. Herrera-Amante, Carajal-Veitia, Ramos-Garcia et. Al. (2025) Anthropometric Characteristics, Somatotype, and Body Composition: Differences by Sport Category and Sex in Elite Cuban and Mexican Track and Field Athletes. [Articolo scientifico]
29. Hewett TE., Myer GD., Ford KR. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. [Articolo scientifico]
30. Jarvis, Turner, Read, Bishop. (2022) Reactive Strength Index and its Associations with Measures of Physical and Sports Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis. [articolo scientifico]
31. Jayanthi N., LaBella C., Fischer D., Pasulka J., Dugas LR. (2015) Sports-specialized intensive training and the risk of injury in young athletes: a clinical case-control study. [Articolo scientifico]
32. Jayanthi N., Post E., Laury T., Fabricant P. (2019). Health Consequences of Youth Sport Specialization. [Articolo scientifico]
33. Judge, Bellar. (2012) Variables Associated with the of Personal Best Performance in the Glide and Spin Shot Put for U.S. Collegiate Throwers. [Articolo scientifico]
34. Kale, Ascl, Aclkada. (2009) Relationships Among Jumping Performances and Sprint Parameters During Maximum Speed Phase in Sprinters. [Articolo scientifico]
35. Kamarh, Adhikari, Bawari, Easow, Kale, Wong, Pullinger. (2024) Investigating Anthropometric characteristics and Somatotypes in Elite Indian Track & Field Athletes. [Articolo scientifico]
36. Kazuhiro Aoki, Yoshimitsu Kohmura, Kazuhiko Sakuma, Kazunori Koshikawa, Hisashi Naito. (2015). Relationships Between Field Tests of Power and Athletic Performance in Track and Field Athletes Specializing in Power Events. [Articolo scientifico]
37. Kearney P., Comyns T., Hayes P. (2020). The prevalence and consequences of within-sport specialization in track and field athletics. [Articolo scientifico]
38. Kong, Fan, Wu. (2022) Correlation analysis of vertical jump variables in male track and field athletes. [articolo scientifico]
39. Kyriazis, Terzis, Boudolos, Georgiadis. (2009) Muscular power, neuromuscular activation and performance in shot put athletes at preseason and at competition period. [articolo scientifico]
40. Ljach W. (1997) High-performance sport of children in Russia. [Articolo scientifico]
41. Lloyd R., Oliver J. (2012) The Youth Physical Development Model. [Articolo scientifico]
42. Lyman S., Fleisig GS., Waterbor JW., Funkhouser EM., Pulley L., Andrews JR., Osinski ED., Roseman JM. (2001). Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. [Articolo scientifico]
43. Mann R.V., Murphy A. (2018), The Mechanics of Sprinting and Hurdling. [Libro]
44. Misjuk, Viru. (2007) The relationships between jumping tests and speed abilities among estonian sprinters. [articolo scientifico]

45. Morganti G., Kelly A., Lascu A., Brustio P., Padua E., Filetti C., Porta M., Briotti G., Ruscello B. (2025). Relative age effects in European soccer: their association with contextual factors, impact on youth national teams' performance, and presence at the senior level. [Articolo scientifico]
46. Moseid C., Myklebust G., Fagerland M., Bahr R. (2018). The association between early specialization and performance level with injury and illness risk in youth elite athletes. [Articolo scientifico]
47. Myer G., Jayanthi N., Difiore J., Faigenbaum A., Kiefer A., Logerstedt D., Micheli L. (2015). Sport Specialization, Part I: Does Early Sports Specialization Increase Negative Outcomes and Reduce the Opportunity for Success in Young Athletes? [Articolo scientifico]
48. Myer G., Jayanthi N., Difiore J., Faigenbaum A., Kiefer A., Logerstedt D., Micheli L. (2015). Sports Specialization, Part II: Alternative Solutions to Early Sport Specialization in Youth Athletes. [Articolo scientifico]
49. Ochs J., Hohmann A., Pion J. (2025). Harnessing coaches' expertise: creating 11 sport-specific profiles for talent orientation. [Articolo scientifico]
50. Otis C., Crespo M., Flygare C. (2006) The Sony Ericsson WTA Tour 10 year age eligibility and professional development review. [Articolo scientifico]
51. Padua DA., Marshall SW., Boling MC., Thigpen CA., Garrett WE. Jr, Beutler A. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: the JUMP-ACL study [Articolo scientifico]
52. Ponzoni F. (1988). Tecnica e didattica dell'atletica leggera. [Libro]
53. Quitiquit C., DiFiori JP., Baker R., Gray A. (2019). Comparing sport participation history between NCAA student-athletes and undergraduate students. [Articolo scientifico]
54. Rachini A. (2018). Il talento sportivo. Scienza e movimento. [Rapporto]
55. Ruscello B. (2025). Relative age effects in European soccer: their association with contextual factors, impact on youth national teams' performance, and presence at the senior level. [Articolo scientifico]
56. Schumacher Y. O., Mroz R., Mueller P., Schmid A., Ruecker G. (2006). Success in elite cycling: A prospective and retrospective analysis of race results. [Articolo scientifico]
57. Terzis, Kyriazis, Karampatsos, Georgiadis. (2012) Muscle Strength, Body Composition, and Performance of an Elite Shot-Putter. [Articolo scientifico]
58. Tjelta LI., Tjensvoll O. (2020). All-Time Best Norwegian Track and Field Athletes: To What Extent Did They Achieve Outstanding Results at The Ages of 15 and 18 Years? [Articolo scientifico]
59. Vaeyens R., Güllich A., Warr CR., Philippaerts R. (2009) Talent identification and promotion programmes of Olympic athletes. [Articolo scientifico]
60. Walker O. (2025) Reactive Strength Index. Science For Sport. [rapporto]
61. Wattie, N., Baker, J., Schorer J., Colbey S. (2017). Why conceptualizations of talent matter. The Routledge handbook of talent identification and development in Sport. [Articolo scientifico]
62. Wattie, N., Schorer, J., & Baker, J. (2015). The relative age effect in sport: A developmental systems model. [Articolo scientifico]
63. Weippert M., Petelczyc M., Thürkow C., Behrens M., Bruhn S. (2020). Individual performance progression of German elite female and male middle-distance runners. [Articolo scientifico]
64. Wong, P. L., Chamari, K., Dellal, A., & Wisloff, U. (2009). Relationship between anthropometric and physiological characteristics in youth soccer players. [Articolo scientifico]
65. Woods T. C., Raynor Annette J., Lyndell B., McDonald Z. & Robertson S. (2016) The application of a multi-dimensional assessment approach to talent identification in Australian football. [Articolo scientifico]
66. World Athletics. (2022). Area Association Rules. [Regolamento Internazionale]
67. World Athletics. (2025). Competition Rules. [Regolamento Internazionale]
68. Zarrett N., Veliz P., Sabo D. (2018). Teen sport in America: why participation matters. [Articolo scientifico]
69. Žuvela, Mastelić, Jelaska, Matijašević, Maleš. (2024) Predictors of Efficiency in Throwing Disciplines: Insights from 35 Elite Coaches. [Articolo scientifico]



Mezzofondisti ai Campionati italiani allievi, Molfetta 2024

# APPROCCIO MULTILATERALE E ATLETICA LEGGERA: LA TENDENZA DELLE SOCIETÀ PIEMONTESE NELLE CATEGORIE RAGAZZI E RAGAZZE

## Paolo Moisé

Docente a contratto di sport individuali 2 (atletica leggera) Università di Torino  
Allenatore specialista (lanci)

## Fabio Dana

Laureato Magistrale in Scienze e Tecniche dello sport presso l'Università di Torino.

La scienza dello sport ha da tempo raggiunto un consenso solido: la specializzazione precoce nei giovani atleti non è la strada maestra verso il successo, ma spesso ne è l'ostacolo. Eppure, la distanza tra ciò che la ricerca indica e ciò che accade realmente nelle palestre e sulle piste di atletica rimane ampia, difficile da misurare e ancora più difficile da colmare. Con questo lavoro, gli autori portano alla luce dati concreti su questa distanza, analizzando la partecipazione competitiva di 1238 giovani atleti piemontesi delle categorie Ragazzi e Ragazze nel corso della stagione 2023. I numeri parlano chiaro: il 39% dei ragazzi ha gareggiato in un unico gruppo di specialità, e solo il 6% si è

cimentato in tutti e cinque i gruppi previsti dalla FIDAL per quella fascia d'età. Un quadro che contraddice apertamente i modelli scientifici più consolidati e che trova ulteriore conferma nelle recentissime ricerche di Gullich et al. (2025), secondo cui il 90% dei grandi atleti internazionali non era ai vertici in giovane età. Lo studio apre una riflessione necessaria sulle pressioni competitive che guidano le scelte degli allenatori e sulla necessità di ridefinire i criteri con cui si misura la qualità del lavoro con i giovani. Un contributo che chiama il mondo dell'atletica a fare i conti con sé stesso.

Federico Pasquali

## ABSTRACT

Le evidenze scientifiche mostrano l'importanza dell'attività multilaterale nell'atletica leggera giovanile (Balyi et al. 2013, Schiffer 2013). Nonostante ciò, la sensazione è che i piccoli praticanti vengano già indirizzati verso un'attività mono-disciplinare che, sicuramente nel breve periodo consente il raggiungimento di migliori prestazioni. Con questo lavoro abbiamo analizzato la partecipazione alle competizioni federali della categoria Ragazzi (12-13 anni) in una regione italiana, il Piemonte. Il campione preso in esame è composto da 1238 atleti (673 F; 565 M) che hanno gareggiato durante l'anno 2023, presenti nelle graduatorie federali. Le specialità sono state divise in cinque gruppi: velocità (60 metri), resistenza (1000 metri - marcia 2 km), ostacoli (60 metri), salti (salto in lungo e salto in alto), lanci (getto del peso - tiro del vortex). Per ogni atleta sono state indicate le specialità a cui ha preso parte, definendo il numero di specialità effettuate da ogni partecipante. Il confronto dei dati ottenuti ha dimostrato come, in entrambi i gruppi, vi sia una propensione maggiore alla singola competizione (M 38,05%; F 39,23%) e soltanto il 6%, sia tra i maschi che tra le femmine, si è cimentato in tutti e cinque i gruppi di specialità.

La poca diversificazione nella partecipazione ai differenti gruppi di specialità potrebbe non riflettere i contenuti dell'allenamento, ma dall'analisi delle competizioni appare chiaro che, nonostante le evidenze scientifiche orientino i tecnici nella direzione dell'approccio multilaterale all'allenamento, la specializzazione precoce dei giovani atleti sembra essere la tendenza predominante.

## INTRODUZIONE

Gli scienziati hanno a lungo dibattuto sulle origini dei risultati eccezionali dell'uomo. Le evidenze disponibili sono altamente coerenti tra i diversi ambiti: i giovani atleti eccezionali e gli atleti di livello mondiale adulti sono in gran parte due popolazioni distinte nel tempo. Le prestazioni eccezionali precoci (ad esempio, in età giovanile) sono associate a un'ampia pratica specifica in una determinata disciplina, a una scarsa o nulla pratica multidisciplinare e a rapidi progressi precoci. Al contrario, le prestazioni di livello mondiale negli adulti sono associate a una pratica specifica in una determinata disciplina, a una maggiore pratica multidisciplinare e a progressi precoci gradualmente. Queste scoperte contribuiscono alla comprensione dello sviluppo dei livelli più alti del successo umano (Gullich et al., 2025). Nella ricerca sono stati presi in considerazione 34.839 soggetti di alto livello provenienti da tutto il mondo. Il gruppo includeva premi Nobel per le scienze, medaglie olimpiche, scacchisti d'élite e importanti compositori di musica classica. Questa indagine ha permesso di confrontare il modo in cui i soggetti che emergono nei campi di riferimento si sviluppano in discipline molto diverse.

Dallo studio di Gullich et al. emerge che tra coloro che primeggiano in età adulta nei diversi ambiti, il 90% non era ai vertici in giovane età. Vi sono diverse evidenze scientifiche che mostrano come anche nell'atletica leggera non sia necessario specializzare precocemente i giovani per far sì che emergano in età adulta.

Da uno studio è emerso che nella top 50 degli atleti di categoria assoluta, solamente il 20% circa era presente anche nella top 50 Under 18 nelle specialità di velocità (Boccia et al., 2021); tendenza confermata anche nel salto in lungo, dove solo l'8% degli uomini e il 16% delle donne si sono confermati nelle categorie maggiori (Boccia et al., 2021); e nelle discipline di lancio, rispettivamente con il 12% ed il 24% di atleti confermati (Boccia et al., 2021).

Dai risultati analizzati in questi studi possiamo constatare che emergere in giovane età non sia un requisito necessario al fine di sviluppare la crescita e prevedere il successo in età adulta (Boccia et al., 2019); diversi fattori possono aiutare gli allenatori a comporre un quadro più dettagliato su tale propensione, come l'effetto dell'età relativa (Brustio et al., 2019), o la durata della carriera sportiva (Boccia et al., 2019).

Dunque, perché ci si specializza prima del tempo? Il compito degli allenatori è dunque elevare sopra ogni cosa il percorso di crescita dei ragazzi, il quale risulta maggiormente sostenibile grazie alla multidisciplinarietà proposta dall'attività multilaterale; lo sviluppo si dimostra più efficace se effettuato nel lungo periodo, spostando la specializzazione dell'atleta più avanti nel tempo (Güllich et al., 2022).

Numerosi studiosi hanno indagato l'allenamento in età evolutiva offrendo indicazioni e linee guida ai tecnici sportivi che si occupano di giovani. Istvan Balyi è il principale ideatore del Long Term Athlete Development (LTAD), un modello progettato per massimizzare il potenziale di un atleta attraverso fasi di allenamento appropriate all'età. Originariamente sviluppato negli anni '90, il modello enfatizza l'"alfabetizzazione fisica" e le abilità motorie fondamentali come fondamento per l'eccellenza futura. Sostiene che trascurare queste abilità motorie di base a favore di una specializzazione precoce specifica per uno sport porta spesso a un successo limitato e a tassi di infortunio più elevati.

Jean Côté è il promotore del Developmental Model of Sport Participation (DMSP), in cui spiega come i giovani atleti progrediscono (o abbandonano) lo sport, enfatizzando il campionamento precoce (praticare molti sport per divertimento) e il gioco intenzionale (attività piacevole e non strutturata) prima della successiva specializzazione (allenamento intenso per un solo sport), promuovendo esperienze diversificate per il successo e il benessere a lungo termine, in contrasto con la specializzazione precoce che rischia infortuni e burnout. Il modello delinea percorsi verso prestazioni d'élite, attività ricreative o abbandono, guidati dalle fasi di sviluppo, dal tipo di attività (gioco vs. allenamento) e da fattori psicosociali. Nel 2006, Bailey e Morley, con il Model of Talent Development, forniscono un quadro inclusivo per l'identificazione e la crescita del talento nell'ambito dell'educazione fisica curricolare tradizionale. A differenza dei modelli tradizionali che si concentrano esclusivamente sulle prestazioni sportive d'élite, questo modello enfatizza un approccio multidimensionale alle capacità e alla loro interazione con fattori personali e ambientali. Ipotizzano che il talento non è solo fisico, perché comprende domini cognitivi, sociali ed emotivi, e distinguono il livello di abilità attuale di uno studente (potenziale) e il suo futuro (prestazione). Nel 2012, Youth Physical Development (YPD) proposto da Lloyd e Oliver ha enfatizzato anche un approccio basato sullo sviluppo piuttosto che sull'età, e l'importanza di iniziare con le abilità motorie fondamentali nell'allenamento dei giovani atleti. Tuttavia, rispetto al modello LTAD, lo YPD fornisce maggiori dettagli sul tipo di allenamento da privilegiare in ogni fase dello sviluppo e tiene conto di ulteriori differenze di genere.

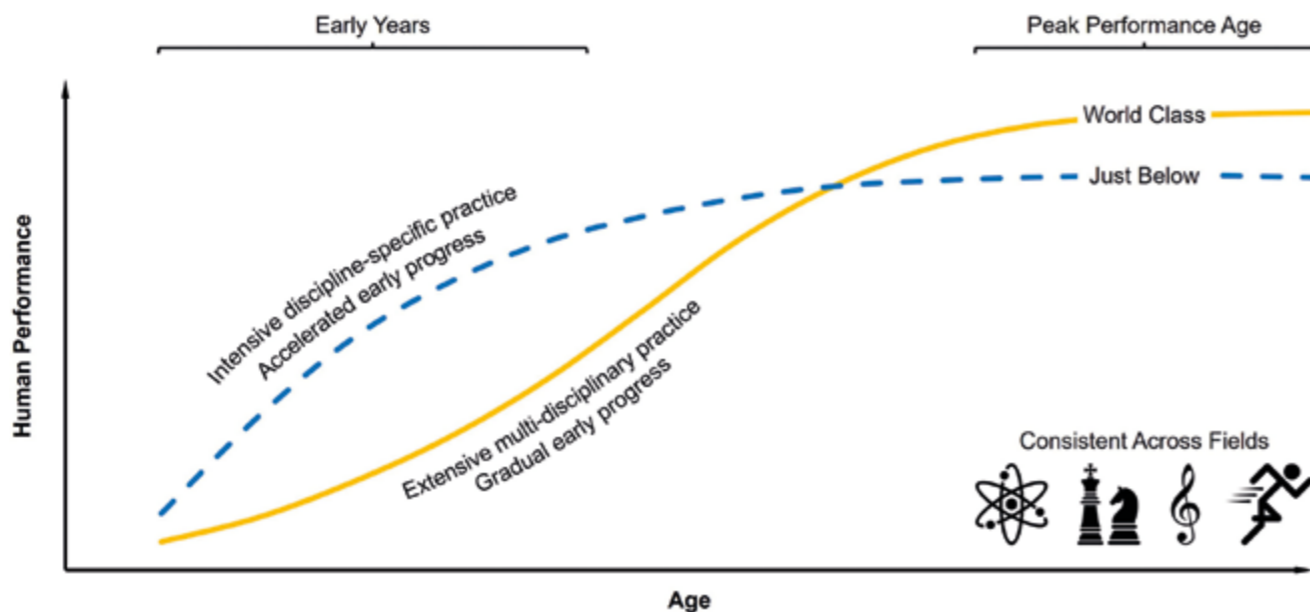


Figura 1 - The development of the highest levels of human achievement (Gullich et al., 2025)

## MATERIALI E METODI

L'obiettivo della ricerca è indagare qual è l'approccio delle società di atletica leggera e comprendere se i giovani vengono già indirizzati verso una attività monodisciplinare, oppure viene proposta una pratica multidisciplinare.

Il campione preso in esame è composto da 1238 atleti (673 F; 565 M) appartenenti alle categorie Ragazzi e Ragazze, nati nel biennio 2010-2011, per cui di età 12-13 anni, che hanno gareggiato nel corso dell'anno 2023 tesserati per società piemontesi.

Sono state utilizzate le graduatorie online presenti nella sezione graduatorie nel sito della FIDAL. Le specialità sono state divise in cinque gruppi: velocità (60 metri), resistenza (1000 metri - marcia 2 km), ostacoli (60 metri), salti (salto in lungo e salto in alto), lanci (getto del peso - tiro del vortex).

Gli eventi presi in esame sono stati raggruppati in cinque gruppi come evidenziato nella tabella 1:

Gruppi di discipline	Discipline
Velocità	60 metri piani
Resistenza	1000 metri - Marcia
Corsa con ostacoli	60 metri con ostacoli
Salti	Salto in lungo - Salto in alto
Lanci	Getto del peso - Tiro del vortex

Tabella 1 - suddivisione in gruppi di discipline

Al fine di ottenere un monitoraggio più completo possibile, per ogni tabella sono stati inseriti, oltre ad atleti e categorie, l'anno di nascita e la provincia della società per la quale hanno svolto le competizioni. Per ogni atleta abbiamo dunque ottenuto un quadro completo dell'attività svolta durante l'anno di competizioni, che ci ha permesso, in relazione all'obiettivo prefissato dalla nostra ricerca, di definire quale tipo di approccio le società tendano ad applicare per i giovani atleti nella Regione Piemonte.

## RISULTATI

Dai dati complessivi emerge che 479 (39%) giovani atleti hanno partecipato a competizioni in un gruppo di specialità, 250 in due gruppi di specialità (20%), 187 in tre gruppi di specialità (15%), 250 in quattro gruppi di specialità (20%) e soltanto 72 (6%) in cinque gruppi di specialità.

Per il gruppo di categoria maschile i dati evidenziano una partecipazione di 215 atleti su 565 ad un singolo gruppo di specialità (38%), rispettivamente 110 in 2 categorie (19%), 89 in 3 (16%), 119 in 4 (21%) e 32 (6%) ad aver gareggiato in tutte e cinque le categorie osservate.

Il campione di genere femminile mostra che 264 atlete su 673 (39%) ha preso parte ad una singola categoria di eventi. Sono 409 (61%) le atlete ad aver preso parte a due o più categorie di competizioni durante l'anno, rispettivamente 140 in 2 (21%), 98 in 3 (15%), 131 in 4 (19%) e solamente 40 (6%) risultano aver gareggiato in tutti i gruppi di specialità.

Specialità	Partecipanti	Percentuale
1 Gruppo di specialità	479	39 %
2 Gruppi di specialità	250	20 %
3 Gruppi di specialità	187	15 %
4 Gruppi di specialità	250	20 %
5 Gruppi di specialità	72	6 %

Tabella 2 - Suddivisione del campione per gruppi di specialità

Specialità	Partecipanti	Percentuale
1 Gruppo di specialità	215	38 %
2 Gruppi di specialità	110	19 %
3 Gruppi di specialità	89	16 %
4 Gruppi di specialità	119	21 %
5 Gruppi di specialità	32	6 %

Tabella 3 - Suddivisione del campione per gruppi di specialità (maschi)

Specialità	Partecipanti	Percentuale
1 Gruppo di specialità	264	39 %
2 Gruppi di specialità	140	21 %
3 Gruppi di specialità	98	15 %
4 Gruppi di specialità	131	19 %
5 Gruppi di specialità	40	6 %

Tabella 4 - Suddivisione del campione per gruppi di specialità (femmine)



Grafico 1



Grafico 2

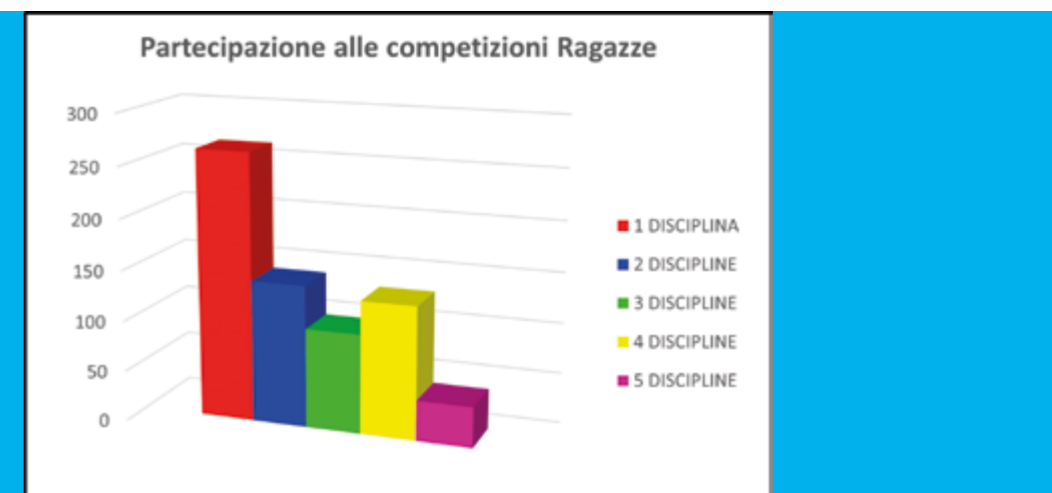


Grafico 3

### DISCUSSIONE

L'analisi dei dati ottenuti fornisce un quadro interessante sul tipo di attività svolta dalle società piemontesi, che è possibile possa essere estendibile a tutto il territorio nazionale.

La pratica è lontana dalle evidenze scientifiche; il 39% dei giovani ha partecipato durante la stagione a competizioni in un solo gruppo di specialità, a questo possiamo aggiungere che il 12% ha partecipato soltanto alle specialità del gruppo resistenza, 1000 metri e marcia, che in quanto specialità cicliche difficilmente influiscono sullo sviluppo degli aspetti coordinativi. Per contro, soltanto il 26% degli atleti si è cimentato in almeno quattro gruppi di specialità. Solo il 6% ha gareggiato in tutti i gruppi.

I dati separati per genere non mostrano differenze significative rispetto al campione nella sua interezza.



## CONCLUSIONI

Nonostante la letteratura di riferimento indichi l'approccio multilaterale come quello più efficace per la formazione dei giovani praticanti, l'atletica leggera sembra andare contro tendenza.

Lo studio prende in considerazione la partecipazione all'attività agonistica, di conseguenza i ragazzi che partecipano ad un gruppo limitato di specialità, in allenamento potrebbero, invece, svolgere un'attività con contenuti ampi e diversificati. E' ragionevole pensare che questo non accada.

In uno sport come l'atletica leggera in cui non vi sono evidenze scientifiche che dimostrano che sia necessario specializzare precocemente i praticanti per garantire loro il successo da adulti, il tecnico non ha motivo per indirizzare gli atleti verso una sola specialità, come è accaduto nel 2023 per il 39 % dei ragazzi e alle ragazze di 12-13 anni in Piemonte. Le cause di questo approccio possono essere molteplici, tra esse la misurazione delle qualità del tecnico in funzione dei risultati che ottengono i giovani che segue. Inoltre, in atletica leggera, è comune che i tecnici che seguono gli atleti dai 12 ai 15 anni li accompagnino anche nelle categorie seguenti; le motivazioni di questo approccio sono varie e comprensibili, la più plausibile l'assenza di un contesto professionistico e la necessità di appagamento dell'allenatore, almeno in termini di risultati. Auspichiamo che in futuro si giunga alla creazione di una figura dedicata con competenze specifiche in grado di formare i giovani a 360°, gettando le basi per i futuri atleti.

Il tecnico che si occupa dei giovani deve essere paziente, non orientato alla prestazione, proporre carichi di lavoro adeguati alle età, essere in grado di distinguere età biologica ed età cronologica, dedicare spazio alla prevenzione, e in parallelo insegnare le corrette tecniche esecutive delle esercitazioni.



Marciatori ai Campionati italiani Juniores e Promesse,  
Grosseto 2025

## BIBLIOGRAFIA

- Bailey R., Morley D. (2006). Towards a model of talent development in physical education. *Sport, Education and Society*, 11(3), 211-230.
- Balyi I., Way, R., Higgs C. (2013). Long-Term Athlete Development.
- Schiffer J. (2013) *Athletics for Children and Adolescents New Studies in Athletics*. Vol. 28 N. 1-2
- Bell, D. R., Post E. G., Trigsted S. M., Hetzel S., McGuine T. A., Brooks M. A. (2016). Prevalence of Sport Specialization in High School Athletics., 44(6), 1469-1474.
- Boccia G., Brustio P. R., Moisé P., Franceschi A., La Torre A., Schena F., Rainoldi A., Cardinale M. (2019). Elite national athletes reach their peak performance later than non-elite in sprints and throwing events. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(3), 342-347.
- Boccia G., Cardinale M., & Brustio P. R. (2021). Elite Junior Throwers Unlikely to Remain at the Top Level in the Senior Category. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(9), 1281-1287.
- Boccia G., Cardinale M., Brustio P. R. (2021). Performance progression of elite jumpers: Early performances do not predict later success. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(1), 132-139.
- Boccia G., Cardinale M., Brustio P. R. (2021). World-Class Sprinters' Careers: Early Success Does Not Guarantee Success at Adult Age. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(3), 367-374.
- Brustio P. R., Kearney P. E., Lupo C., Ungureanu A. N., Mulasso A., Rainoldi A., Boccia G. (2019). Relative age influences performance of world-class track and field athletes even in the adulthood. *Frontiers in Psychology*, 10, 466606.
- Côté J., Hancock D., (2016). Evidence-based policies for youth sport programmes. *International Journal of Sport Policy and Politics*, 8 (1). pp. 51-65.
- Feeley B. T., Agel J., Laprade R. F. (2015). When Is It Too Early for Single Sport Specialization? 44 (1), 234-241.
- Güllich A., Macnamara B. N., & Hambrick D. Z. (2022). What Makes a Champion? Early Multidisciplinary Practice, Not Early Specialization, Predicts World-Class Performance. *Perspectives on Psychological Science*, 17(1), 6-29.
- Güllich A., Barth M., Hambrick D., Macnamara B., (2025). Recent discoveries on the acquisition of the highest levels of human performance. *Science* 18 Dec 2025 Vol 390, Issue 6779.
- Lloyd R.S., Oliver J.L., (2012). The youth physical development model. *Strength Cond J.*;34: 61-72
- Moisé P., Franceschi A., Boccia, G., Trova F., Panero D., Rainoldi, A., Schena F., La Torre A., Cardinale M., (2017). L'andamento delle prestazioni nell'atletica leggera: per vincere da adulti è necessario vincere da giovani? *AtleticaStudi*, 1-2, 3-14.
- Mosher A., Till K., Fraser-Thomas J., & Baker J. (2022). Revisiting Early Sport Specialization: What's the Problem? *Sports Health*, 14(1), 13-19.



© Freepik

# L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE: APPLICAZIONI E TUTELA NELL'ATLETICA

## Avv. Biagio Giancola

È socio e Managing Partner dello Studio Legale Martinelli Giancola Tiberio, con competenze approfondite in diritto sportivo, terzo settore e diritto e governance societaria. Consulente legale per federazioni sportive, leghe nazionali, enti di promozione sportiva, enti sportivi dilettantistici ed

enti del terzo settore e no-profit. È autore di pubblicazioni settoriali e coautore di testi rilevanti come "La riforma dello Sport: Contributi di diritto ed economia dello sport". È partner legale dell'Osservatorio Italiano eSports. È Presidente e componente delle Commissioni Ammissioni Campionati per leghe sportive di vertice.



Quando la tecnologia incontra il corpo umano in corsa, la questione non è più soltanto scientifica: diventa filosofica, giuridica, persino morale. L'intelligenza artificiale ha varcato i cancelli degli stadi e delle piste di atletica con la discrezione di un tecnico discreto e la pervasività di un sistema nervoso digitale, raccogliendo dati, elaborando modelli, suggerendo decisioni. Lo fa con una precisione che nessun occhio umano potrebbe eguagliare, e con una velocità che sfida ogni riflessione. L'articolo che il lettore si appresta a leggere affronta questa trasformazione con rigore e lucidità. L'autore ricostruisce con metodo il quadro

normativo europeo applicandolo a un ambito che raramente viene esaminato con tale profondità: l'atletica leggera e i diritti dell'atleta nell'era algoritmica. Il risultato è un contributo che va oltre il perimetro tecnico-giuridico: è una riflessione sulla dignità della persona sportiva, sul confine tra ottimizzazione e riduzione dell'essere umano a variabile computabile. Questo articolo, dunque, offre alla comunità scientifica e sportiva gli strumenti interpretativi per governare il cambiamento senza subirlo.

**Federico Pasquali**

Lo sport ad alto livello è da sempre terreno di sperimentazione tecnologica, ma l'avvento dell'intelligenza artificiale (IA) ha segnato un salto qualitativo senza precedenti, trasformando radicalmente il modo in cui un atleta si prepara, gareggia e si cura. Nell'atletica leggera - disciplina regina per eccellenza - i sistemi di IA stanno penetrando in ogni fase del processo sportivo, dall'analisi della biomeccanica alla pianificazione del carico allenante, dalla prevenzione degli infortuni alla gestione della carriera. Le applicazioni sono molteplici e in rapida evoluzione. I sistemi di analisi del movimento elaborano migliaia di fotogrammi al secondo per rilevare micro asimmetrie nella falcata di un velocista o nel gesto

tecnico di un saltatore. Esistono piattaforme digitali IA che raccolgono dati GPS, accelerometrici e cardiaci in tempo reale, restituendo al tecnico un quadro completo del carico fisico sostenuto dall'atleta. La previsione degli infortuni si avvale di modelli predittivi che correlano dati storici, biometrici e di allenamento: nel calcio professionistico, l'applicazione di questi strumenti ha ridotto le lesioni muscolari fino al 25% in alcuni club di Premier League e Serie A, come indicato dal "2024 Sports Trends Report" (Catapult).

L'allenamento personalizzato è forse l'ambito di maggiore impatto. Algoritmi di machine learning analizzano la risposta fisiologica individuale dell'at-



© Freepik

leta - VO<sub>2</sub> max, lattato ematico, variabilità della frequenza cardiaca - per modulare carichi e recuperi in modo quasi sartoriale.

Sul versante arbitrale, l'IA fornisce supporto alle decisioni in gara: sistemi di fotofinish avanzati risolvono frazioni di centesimo, mentre sistemi di rilevazione automatica delle infrazioni tecniche nella marcia o nell'ostacolo riducono la soggettività umana. La Diamond League utilizza già soluzioni di analisi video automatizzata per le misurazioni e la rilevazione dei falsi partenti.

### IL DATO DELL'ATLETA: PROFILING, CONDIVISIONE E RISCHI PER LA PRIVACY E GDPR

Il funzionamento di questi sistemi presuppone la raccolta massiva di dati personali dell'atleta, molti dei quali rientrano nelle categorie particolari ex art. 9 del Regolamento (UE) 2016/679 (GDPR): dati sanitari (frequenza cardiaca, parametri biometrici, esiti di esami ematici), dati genetici in talune applicazioni, dati biometrici finalizzati all'identificazione univoca (gait analysis, riconoscimento facciale negli stadi). Si tratta di informazioni sensibili la cui raccolta, archiviazione e condivisione richiede un quadro giuridico rigoroso. Un profilo dati completo di un atleta può comprendere: dati anagrafici e contrattuali; parametri fisici (altezza, peso, massa grassa, VO<sub>2</sub> max); risultati di test e gare; dati biometrici da wearable (GPS, acce-

lerometri, giroscopio); filmati di allenamento e gara; dati psicologici e di sonno; dati nutrizionali; cartelle cliniche e referti di imaging.

Questo insieme costituisce un patrimonio informativo di elevato valore sia per la società sportiva che per eventuali terzi - aziende di scouting, sponsor tecnici, laboratori di ricerca, fornitori di sistemi IA - che desiderano accedervi.

La domanda giuridica centrale è: questi dati possono essere utilizzati per migliorare le prestazioni di altri atleti? La risposta non è semplice. In linea di principio, i dati di un atleta possono essere impiegati per addestrare modelli predittivi generalizzati, ma a condizione che vengano rispettati i principi del GDPR. In primo luogo, il principio di finalità (art. 5, par. 1, lett. b): i dati raccolti per un fine determinato (es. monitoraggio sanitario dell'atleta X) non possono essere riutilizzati per scopi incompatibili (es. addestramento di un modello commerciale) senza una nuova base giuridica. In secondo luogo, il principio di minimizzazione (art. 5, par. 1, lett. c): devono essere trattati solo i dati strettamente necessari. In terzo luogo, salvo che non intervengano tecniche di anonimizzazione conformi agli standard del Comitato europeo per la protezione dei dati, il semplice "mascheramento" o la pseudonimizzazione non sottraggono i dati all'ambito di applicazione del Regolamento GDPR, poiché la re-identificazione dell'atleta è spesso concretamente possibile.



© Freepik



© Freepik

I dati biometrici degli atleti costituiscono "dati particolari" ex art. 9 GDPR: la loro raccolta è vietata in linea di principio, salvo specifiche eccezioni normativamente tassate.

La base giuridica più frequentemente invocata dalle società sportive è il contratto (art. 6, par. 1, lett. b) per i dati necessari all'esecuzione del rapporto di lavoro, e il legittimo interesse (art. 6, par. 1, lett. f) per usi secondari. Tuttavia, per i dati sanitari e biometrici, l'art. 9 GDPR richiede il consenso esplicito dell'interessato (par. 2, lett. a) o la necessità per finalità di medicina preventiva e medicina del lavoro (par. 2, lett. h). La norma italiana di attuazione - il D.Lgs. 196/2003 (Codice Privacy), come modificato dal D.Lgs. 101/2018 - rimanda alle medesime condizioni, con specifiche previsioni all'art. 75 per il trattamento in ambito sanitario e all'art. 9 del Provvedimento del Garante n. 55 del 7 marzo 2019 sui test genetici.

Il sistema di tutele che presidia i dati degli atleti si articola su tre livelli normativi sovrapposti e complementari.

### IL GDPR E IL CODICE PRIVACY

Il Regolamento (UE) 2016/679 stabilisce un insieme di diritti inderogabili dell'interessato applicabili a pieno all'atleta: il diritto di accesso (art. 15), il diritto alla rettifica (art. 16), il diritto alla cancellazione (art. 17, "diritto all'oblio"), il diritto alla limitazione del trattamento (art. 18), il diritto alla portabilità (art. 20) e - di

cruciale rilevanza nello sport tecnologico - il diritto di opposizione (art. 21). Quest'ultimo diritto consente all'atleta di opporsi al trattamento fondato su legittimo interesse in qualsiasi momento, salvo che il titolare non dimostri l'esistenza di motivi legittimi cogenti che prevalgono sugli interessi dell'interessato.

Particolarmente rilevante nell'era dell'IA è l'art. 22 GDPR, che disciplina il diritto di non essere sottoposto a decisioni automatizzate, inclusa la profilazione, qualora tali decisioni producano effetti giuridici o analogamente significativi sulla persona.

Nel contesto sportivo, una decisione automatizzata può produrre effetti "analogamente significativi" quando incide sulla selezione in nazionale, sul rinnovo contrattuale, sull'ingaggio o sul piano d'allenamento. In questi casi, l'atleta ha diritto a: a) non essere soggetto a tale decisione senza intervento umano; b) esprimere la propria opinione; c) contestare la decisione.

Questo diritto può essere derogato solo con consenso esplicito, ma anche in questi casi l'atleta mantiene il diritto a ottenere l'intervento umano.

### IL REGOLAMENTO (UE) 2024/1689: L'AI ACT

Il Regolamento (UE) 2024/1689 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 giugno 2024 (pubblicato sulla GUUE, Serie L, 12 luglio 2024), comunemente noto come AI Act, costituisce la prima disciplina

organica mondiale sull'intelligenza artificiale. Il Regolamento è entrato in vigore il 1° agosto 2024 e si applica progressivamente: il divieto dei sistemi IA a rischio inaccettabile è operativo dal 2 febbraio 2025; le norme sui sistemi ad alto rischio si applicano dal 2 agosto 2026.

L'AI Act classifica i sistemi IA in base al livello di rischio. Nel contesto dell'atletica, i sistemi di IA più rilevanti sono: (i) i sistemi di analisi biometrica e di identificazione biometrica, potenzialmente ad alto rischio ex Allegato III; (ii) i sistemi di valutazione del rendimento in contesti lavorativi (le società sportive sono datori di lavoro), inclusi nell'Allegato III, punto 4; (iii) i sistemi di profilazione sanitaria e di prevenzione degli infortuni. Per tutti questi sistemi, l'AI Act impone obblighi specifici: conformità a una valutazione di conformità ex art. 43, gestione del rischio ex art. 9, qualità dei dati ex art. 10, trasparenza e informazione agli utenti ex artt. 13 e 50, supervisione umana ex art. 14, e accuratezza, robustezza e cybersecurity ex art. 15. Ancora più rilevante, l'art. 9, par. 7 dell'AI Act rinvia espressamente all'art. 9 del GDPR per il trattamento dei dati biometrici, confermando la necessità del doppio filtro normativo.

Il Regolamento, al Considerando n. 9, chiarisce che "il diritto dell'Unione in materia di protezione dei dati personali si applica ai dati personali trattati in relazione ai diritti e agli obblighi stabiliti dal presente Regolamento" e che "il presente Regolamento lascia impregiudicati il Regolamento (UE) 2016/679". Ciò produce un sistema di tutela stratificato in cui GDPR e AI Act si integrano e si rafforzano reciprocamente.

### PUÒ L'ATLETA RIFIUTARSI? DIRITTI E AUTONOMIA DI FRONTE ALL'ALGORITMO

La questione dell'autodeterminazione dell'atleta di fronte ai sistemi IA è di fondamentale importanza pratica. La risposta è: sì, l'atleta ha diritti specifici e può legittimamente opporsi, ma il concreto esercizio di tali diritti incontra ostacoli di fatto e di diritto che occorre esaminare con attenzione.

In primo luogo, l'atleta può rifiutare di fornire i propri dati qualora non esista una base giuridica che obblighi al trattamento. Il consenso, quando richiesto, deve essere libero, specifico, informato e inequivocabile (art. 4, n. 11 GDPR). In un contesto lavorativo come quello dell'atletica professionistica, tuttavia, il consenso è strutturalmente esposto a un problema di "libertà condizionata": l'atleta che rifiuta il trattamento può temere conseguenze sulla propria selezione o sulla propria carriera. Il Garante europeo per la protezione dei dati (EDPB) ha più volte ribadito - nelle Linee guida 5/2020 sul consenso - che nel rapporto di lavoro il consenso è raramente libero e che i titolari del trattamento dovrebbero individuare basi giuridiche alternative.

In secondo luogo, come anticipato, l'art. 22 GDPR riconosce il diritto di non essere sottoposto a decisioni basate unicamente su trattamenti automatizzati, con effetti significativi per la persona. Un piano d'allenamento interamente predisposto dall'algoritmo senza supervisione di un tecnico umano, o una selezione in squadra nazionale basata esclusivamente su indicatori computazionali, rientrano in questa fattispecie. L'atleta ha diritto a chiedere l'intervento di un valutatore umano e a contestare la decisione. In terzo luogo, l'atleta può opporre il diritto all'oblio ex art. 17 GDPR per i dati che hanno cessato di essere necessari rispetto alle finalità per cui erano stati raccolti, ad esempio dati biometrici di una stagione sportiva conclusa da anni, usati per addestrare modelli IA senza consenso aggiornato. Tuttavia, questo diritto cede di fronte ad esigenze di archiviazione storica a fini scientifici o statistici (art. 17, par. 3, lett. d).

Sul versante contrattuale, la questione si complica. La negoziazione di clausole di obbligatorietà dell'IA nei contratti degli atleti è ancora in una fase embrionale in Italia, mentre nei Paesi anglosassoni - in particolare negli sport di squadra americani - già esistono pattuizioni che rendono obbligatorio il monitoraggio biometrico. In Italia il d.Lgs. 36/2021 (Riforma dello sport, in vigore dal 1° luglio 2023) non contiene disposizioni specifiche in materia di IA, ma il quadro generale del diritto del lavoro sportivo impone che qualsiasi obbligo dell'atleta sia fondato su specifiche clausole contrattuali, nel rispetto dei limiti imposti dalla normativa sulla privacy/GDPR.

Un atleta che rifiuta di seguire istruzioni derivate da un'analisi IA non commette inadempimento se tali istruzioni non trovano fondamento in obblighi contrattuali espliciti.

### DIGNITÀ UMANA E TECNOLOGIA: LA VOCE DELLA "MAGNIFICA HUMANITAS"

Il dibattito giuridico sui dati degli atleti non può esaurirsi nel registro tecnico-normativo. La domanda più profonda è di ordine antropologico: l'atleta è un essere umano o un insieme di variabili ottimizzabili? Su questa questione, sorprendentemente, il magistero ecclesiastico offre un contributo di straordinaria attualità.

Il 15 maggio 2026, Papa Leone XIV ha promulgato la Lettera Enciclica *Magnifica Humanitas*, dedicata interamente alla custodia della persona umana nel tempo dell'intelligenza artificiale.

Il documento affronta il rischio che l'IA **riduca l'essere umano a mero "dato"**, a variabile di un sistema di ottimizzazione.

L'Enciclica afferma che "nessuna prestazione misurabile può esaurire il valore dell'azione umana", e che l'uso dei sistemi IA deve essere "orientato al bene integrale della persona", non soltanto all'efficienza.



Mattia Furlani, Campionati del mondo Indoor,  
Torun 2026

Applicato all'atletica, questo principio suggerisce che i sistemi IA devono essere strumenti al servizio dell'atleta - della sua salute, della sua crescita, del suo progetto di vita - e non meccanismi di riduzione della persona a prestazione.

Dunque, *"l'intelligenza artificiale va governata con responsabilità e orientata al bene della persona"*.

Questi principi trovano una precisa corrispondenza nel diritto vigente: l'obbligo di supervisione umana sulle decisioni automatizzate (art. 14 AI Act) e il diritto dell'atleta a non essere assoggettato a profilazione priva di controllo umano (art. 22 GDPR) sono, in fondo, la traduzione giuridica di quella "grandezza della persona umana" che l'Enciclica Papale pone al cuore della riflessione.

### VERSO UN SISTEMA DI TUTELA INTEGRATO

Il panorama normativo e tecnologico che emerge suggerisce alcune prospettive conclusive per il mondo dell'atletica.

**Le società sportive e la Federazione devono adottare contratti e informative privacy/GDPR che siano specificamente calibrati sull'uso dell'IA.** L'informativa all'atleta (art. 13 GDPR) deve indicare in modo trasparente non solo le finalità del trattamento, ma anche la logica degli algoritmi di analisi, la natura delle decisioni automatizzate e i diritti eser-

citabili. Il Garante italiano per la protezione dei dati ha chiarito che l'informativa deve essere specifica e non generica.

La World Athletics e la FIDAL - che gestiscono dati di atleti da tutto il mondo - sono tenute ad applicare il GDPR in quanto organizzazioni che offrono servizi a soggetti nell'UE (art. 3 GDPR). L'AI Act impone loro, in qualità di "deployer" di sistemi ad alto rischio, obblighi di registrazione (art. 49), di valutazione d'impatto (art. 9) e di supervisione umana (art. 14). È auspicabile che la Federazione adotti specifici **regolamenti interni sull'uso dell'IA**, che definiscano gli standard di raccolta, conservazione e condivisione dei dati degli atleti.

**Il rifiuto dell'atleta come diritto da proteggere**, non come ostacolo da superare. L'autonomia dell'atleta di fronte all'algoritmo non è una resistenza irrazionale al progresso, ma l'esercizio di un diritto fondamentale. Un campione come Mattia Furlani che, prima di un salto in pedana, preferisce affidarsi all'istinto e alla relazione con il proprio allenatore piuttosto che a un output algoritmico, è un essere umano che esercita la propria libertà. Il quadro normativo esistente - GDPR e AI Act - tutela questa scelta.

Spetterà alla comunità sportiva, ai tecnici e alle istituzioni assicurare il governo dell'AI ed evitare che l'atleta sia ridotto alla valutazione numerica di una prestazione.



# PILLOLE DI NUTRIZIONE #5

## Interventi di nutrizione personalizzata negli atleti paralimpici: evidenze scientifiche e implicazioni cliniche

### Francesca Giuliani

Nata a Teramo, il 28/04/1993.

- Laurea Triennale in Scienze Biologiche e laurea Magistrale in Biologia della Salute e della Nutrizione conseguite presso l'Università degli Studi dell'Aquila.
- Esperta in Nutrizione ed Integrazione Sportiva (SANIS Academy).
- Istruttrice di primo livello FIDAL.

Attualmente collabora con le seguenti società sportive:

- \* Amicacci Abruzzo (Serie A wheelchair basketball)
- \* Panthers Roseto (Serie A1 basket femminile)
- \* Teramo Calcio 1913
- \* Atletica Gran Sasso Teramo (atletica leggera)
- \* Gruppo Podistico Amatori Teramo (running)

**Amicacci Abruzzo 1982, squadra di wheelchair basketball, vincitrice della Coppa Italia di Serie A nella stagione 2025/2026**

Lo sport paralimpico è, a tutti gli effetti, sport di alto livello. Eppure la nutrizione dei para-atleti rimane uno dei territori meno esplorati della scienza sportiva applicata, spesso appiattita sulle linee guida pensate per gli atleti normodotati senza tenere conto della straordinaria eterogeneità clinica e funzionale che caratterizza questa popolazione. Con questa "Pillola di Nutrizione", l'autrice affronta un tema complesso e urgente: come personalizzare l'intervento nutrizionale negli atleti paralimpici con disabilità fisiche e motorie. Il contributo attraversa con metodo i principali nodi della que-

stione, integrando le più recenti evidenze della letteratura internazionale, incluso il documento ISAK del maggio 2026 sugli adattamenti antropometrici nella disabilità motoria. Ne emerge un modello di intervento che è prima di tutto un cambiamento di prospettiva: la nutrizione non come protocollo da applicare, ma come processo dinamico, individualizzato e multidisciplinare, capace di adattarsi alla complessità della persona e non soltanto alla sua diagnosi.

Federico Pasquali

Lo sport paralimpico rappresenta una delle espressioni più significative e complete dello sport di alto livello, poiché integra talento, preparazione atletica e determinazione con i principi fondamentali di equità e inclusione. Centrale è il ruolo del **Comitato Paralimpico Internazionale (IPC)** che, attraverso il **sistema di classificazione funzionale**, valuta l'impatto della compromissione funzionale sulla performance sportiva, garantendo così equità, competitività e correttezza.

È pertanto fondamentale riconoscere come il concetto stesso di "disabilità", se usato al singolare, risulti inevitabilmente riduttivo. Gli atleti paralimpici costituiscono infatti una popolazione estremamente eterogenea, caratterizzata da condizioni fisiche, sensoriali e intellettive profondamente differenti tra di loro. La comprensione approfondita di queste variabilità diventa un elemento essenziale per poter rispondere in modo adeguato alle esigenze individuali e riveste un ruolo determinante anche in ambito nutrizionale. Le diverse tipologie di disabilità possono influenzare in modo significativo il metabolismo energetico, la composizione corporea, la funzionalità gastrointestinale, la termoregolazione, la capacità di recupero e il rischio di specifiche carenze nutrizionali, rendendo imprescindibile un approccio individualizzato e multidisciplinare.

Nel presente articolo verranno analizzate alcune delle principali difficoltà che possono emergere all'inizio di un percorso nutrizionale con atleti con disabilità fisiche e motorie. Particolare attenzione sarà, inoltre, dedicata alle modalità con cui il professionista dovrebbe approcciarsi a questo contesto, attraverso la propria presenza, la capacità di adattamento e la continua ricerca delle strategie più efficaci, favorendo la crescita della persona intesa come sviluppo della consapevolezza e della capacità di autogestirsi.

### LA PERSONALIZZAZIONE NUTRIZIONALE COME RISPOSTA ALLA COMPLESSITÀ DELL'ATLETA PARALIMPICO

Ad oggi non esiste un modello nutrizionale unico e standardizzato applicabile a tutti gli atleti paralimpici.

La nutrizione sportiva assume, pertanto, una connotazione profondamente specialistica che non può limitarsi all'adattamento delle linee guida nutrizionali tradizionali ma che richiede una valutazione clinico-anamnestica approfondita, capace di cogliere la complessità del quadro funzionale e metabolico dell'atleta.

A tal proposito, è necessario sottolineare l'estrema importanza della stretta collaborazione tra le diverse figure del team clinico sportivo, in cui la competenza scientifica si coniuga con la capacità di valutare il singolo atleta nella sua complessità individuale.

A titolo esemplificativo, un atleta con paraplegia - conseguente a lesioni del tratto toracico-lombare del midollo spinale - presenta un profilo metabolico e funzionale significativamente diverso rispetto a un atleta con tetraplegia, in cui il coinvolgimento dei segmenti cervicali determina una compromissione che non interessa solo gli arti inferiori ma anche parte della muscolatura del tronco e degli arti superiori.

Negli atleti con lesioni cervicali si osserva spesso una marcata compromissione della sudorazione al di sotto del livello della lesione, dovuta all'interruzione delle vie simpatiche efferenti coinvolte nella termoregolazione. Tale condizione determina una ridotta capacità di dissipare il calore e, di conseguenza, un aumento del rischio di ipertermia durante l'attività fisica, soprattutto in condizioni ambientali calde o in presenza di elevati carichi metabolici.

Negli atleti con lesioni toraciche o lombari, invece, la funzione termoregolatoria risulta solo parzialmente compromessa. Tuttavia, possono essere

presenti con maggiore frequenza altre problematiche clinico-funzionali, tra cui spasmi muscolari, disfunzioni del tratto intestinale e vescicale e possibili alterazioni della funzione respiratoria, con una maggiore suscettibilità a condizioni come l'asma indotta da esercizio.

Tali differenze evidenziano come il quadro clinico-funzionale vari in modo sostanziale non solo in relazione alla tipologia di disabilità ma anche, nello specifico di questo esempio, in funzione del livello della lesione midollare, che rappresenta un determinante cruciale delle risposte fisiologiche allo sforzo.

Di conseguenza, la programmazione nutrizionale in ambito paralimpico deve essere anticipatoria, stratificata sul rischio e rigorosamente individualizzata.

### INQUADRAMENTO CLINICO E PIANIFICAZIONE DEL PERCORSO NUTRIZIONALE

Il professionista della nutrizione, nell'approcciarsi al mondo paralimpico, deve necessariamente integrare le evidenze scientifiche disponibili con un **attento monitoraggio individuale**, costruendo l'intervento nutrizionale sulla risposta reale dell'atleta alle strategie adottate.

La pianificazione deve fondarsi su due pilastri fondamentali:

1. **Anamnesi clinica e funzionale approfondita dell'atleta**, inserita all'interno di una valutazione multidisciplinare che coinvolga le diverse figure del team sportivo.
2. **Osservazione continua dell'atleta e comunicazione costante con il team**, elemento essenziale per cogliere l'evoluzione dell'atleta nel tempo.

La nutrizione dev'essere concepita come un processo dinamico e non statico, capace di adattarsi ai cambiamenti delle condizioni fisiologiche e funzionali dell'atleta. Deve inoltre configurarsi come una nutrizione periodizzata, ossia modulata in funzione delle diverse fasi della stagione sportiva, dei carichi di allenamento, degli obiettivi agonistici e delle tipologie delle singole sedute. Il fine non si limita al miglioramento della performance ma si estende alla tutela della salute a lungo termine.

Nella gestione della quotidianità alimentare, tra le problematiche più frequentemente riportate negli atleti paralimpici con disabilità fisiche e motorie, si annoverano disturbi gastrointestinali quali: distensione addominale, nausea, rallentamento dello svuotamento gastrico, stipsi e ridotta tolleranza all'introito alimentare. Condizioni che possono compromettere in modo significativo i processi di digestione e l'assorbimento dei nutrienti.

Vediamo infatti come le alterazioni della motilità gastrointestinale, associate a un prolungamento del transito intestinale e a una ridotta efficienza della propulsione peristaltica, influenzano lo svuotamento gastrico, determinando una minore tolleranza ai volumi alimentari dei pasti pre-esercizio. Di conseguenza si osserva spesso la comparsa di sintomi quali senso di pienezza precoce, reflusso e disagio addominale durante l'attività fisica. Dal punto di vista metabolico, può verificarsi una ridotta disponibilità dei substrati energetici in circolo, con conseguente alterazione dell'ossidazione dei carboidrati e dei lipidi. Ne deriva una marcata variabilità individuale nella tolleranza ai diversi macronutrienti e nella risposta glicemica. Le problematiche gastrointestinali possono determinare non solo disfunzioni a livello fisiologico ma anche alterazioni del comportamento alimentare, con conseguenze che compromettono sia il bilancio energetico sia la corretta assunzione di nutrienti. Questa condizione può predisporre allo sviluppo della *Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S)*, con conseguenze sulla funzionalità endocrina, immunitaria e muscolo-scheletrica. Non è raro, infatti, trovare negli atleti paralimpici un quadro di carenze di nutrienti essenziali quali proteine, carboidrati, ferro e vitamina D, che hanno impatto diretto sulle capacità di recupero, sull'efficienza metabolica, sulla performance sportiva e sullo stato di salute.

Assumono quindi un ruolo cruciale:

- Il corretto **timing dei pasti**, che nello sport paralimpico non può ricalcare gli schemi utilizzati dagli atleti normodotati ed è spesso necessario prevedere finestre temporali più ampie tra i pasti e l'attività fisica.
- Un'**adeguata distribuzione dei carichi nutrizionali** con strategie mirate nelle fasi pre, intra e post esercizio, al fine di ottimizzare la disponibilità energetica e, nel contempo, ridurre il rischio di disturbi gastrointestinali.
- L'**identificazione di eventuali condizioni di disbiosi** (alterazione qualitativa e/o quantitativa del microbiota intestinale) che consente l'impostazione di interventi mirati volti al ripristino dell'eubiosi (condizione di equilibrio del microbiota), con potenziali benefici sulla funzionalità gastrointestinale, sull'efficienza dell'assorbimento dei nutrienti, sulla modulazione della risposta immunitaria, sulla percezione della fatica e sul recupero post esercizio.

L'utilizzo ricorrente di terapie antibiotiche, impiegate nella gestione delle frequenti infezioni alle quali sono soggetti i para-atleti (infezioni delle vie urinarie o lesioni da pressione), sebbene spesso clinicamente indispensabili, possono indurre alterazioni significative della composizione e della



© Freepik

funzionalità del microbiota intestinale. Questo determina una riduzione non solo dei microrganismi potenzialmente patogeni ma anche delle popolazioni commensali e mutualistiche, compromettendo la resistenza alla colonizzazione del microbiota e aumentandone la suscettibilità a patogeni opportunisti. Viene così favorito uno stato infiammatorio, con potenziali ripercussioni sulla funzione immunitaria e sulla tolleranza gastrointestinale.

La **valutazione del microbiota intestinale** rappresenta pertanto un esempio emblematico di nutrizione personalizzata.

Ne consegue che l'intervento nutrizionale non può limitarsi alla sola stima del fabbisogno energetico né basarsi esclusivamente su raccomandazioni nutrizionali generiche. Deve altresì tener conto di tutte le analisi biochimiche ed ematologiche, nonché della caratterizzazione del microbiota intestinale, strumenti utili per identificare eventuali carenze nutrizionali, stati infiammatori subclinici o alterazioni metaboliche.

### VALUTAZIONE DELLA COMPOSIZIONE CORPOREA

Nei para-atleti il metabolismo basale risulta spesso ridotto, soprattutto nei soggetti con lesioni spinali, a causa della riduzione della massa muscolare attiva e agli adattamenti del sistema nervoso autonomo.

La **valutazione della composizione corporea** riveste un ruolo centrale nella stima del fabbisogno energetico ma è anche particolarmente complessa. Le metodiche antropometriche tradizionali, infatti, possono risultare limitate o meno affidabili, rendendo necessario il ricorso a strumenti più accurati e adattabili al singolo caso.

A questo proposito, il 15 maggio 2026, è stato pubblicato un documento della ISAK (*International Society for the Advancement of Kinanthropometry*) dedicato all'adattamento delle **valutazioni antropometriche** nelle persone con disabilità motorie. L'obiettivo del documento è quello di definire adattamenti pratici delle misurazioni per soggetti con paraplegia, tetraplegia, amputazioni, paralisi cerebrale e altre condizioni neurologiche o muscolo-scheletriche.

Vengono proposte delle linee guida specifiche per la valutazione di diversi parametri antropometrici:

- Per il peso corporeo, nei soggetti in carrozzina si raccomanda di pesare inizialmente la persona insieme alla carrozzina e successivamente sottrarre il peso della carrozzina stessa. Nei bambini non autonomi, il peso viene rilevato in braccio a un adulto, sottraendo poi il peso dell'adulto. Negli amputati, la misurazione può essere effettuata con o senza protesi, in base alla sicurezza e alla stabilità del soggetto.

- Per la valutazione della statura, quando non è possibile mantenere la posizione eretta, vengono suggerite misure alternative come la lunghezza supina, l'ampiezza delle braccia (Arm Span) oppure formule predittive basate sulla lunghezza di specifici segmenti corporei, come ginocchio o ulna.
- Nel documento vengono inoltre descritti adattamenti specifici per il rilevamento delle pliche cutanee e delle circonferenze corporee.

Condizioni quali spasticità, atrofia muscolare, edema o deformità possono compromettere l'accuratezza delle misurazioni; per questo motivo si raccomanda di evitare misure considerate poco affidabili.

Gli autori consigliano di eseguire ogni misura almeno due volte e, qualora l'errore superi il 5% nelle pliche o l'1% nelle altre misurazioni, di effettuare una terza rilevazione. Viene inoltre evidenziato come indicatori tradizionali, quali BMI e rapporto vita-fianchi, in questo contesto possano risultare poco rappresentativi.

In conclusione, questo aggiornamento rappresenta un importante passo verso la standardizzazione della valutazioni antropometriche nella disabilità motoria, consentendo di ottenere dati più affidabili e confrontabili sia nella pratica clinica che nella ricerca scientifica.

È fondamentale, inoltre, integrare tali metodiche con tutte le strumentazioni disponibili. Ad esempio, la **densitometria ossea** (DEXA) rappresenta uno strumento particolarmente utile, in quanto consente una buona stima della composizione corporea e una valutazione dettagliata del contenuto minerale osseo, fornendo indicazioni rilevanti sullo stato di salute scheletrica, soprattutto nei soggetti caratterizzati da ridotta mobilità e diminuito carico meccanico.

### INTEGRAZIONE NUTRIZIONALE

Negli atleti con disabilità, l'integrazione nutrizionale non è finalizzata esclusivamente al miglioramento della performance ma assume anche un ruolo di prevenzione delle alterazioni muscolo-scheletriche, metaboliche e immunitarie.

Uno degli aspetti più rilevanti riguarda la **vitamina D**, per la quale la letteratura scientifica evidenzia un'elevata presenza di insufficienza o carenza negli atleti paralimpici, soprattutto in quelli che praticano sport indoor o discipline in carrozzina. Si tratta di una condizione clinicamente significativa, considerando che questi atleti presentano già una maggiore vulnerabilità a problematiche muscolo-scheletriche, legate alla ridotta deambulazione, alla limitata ampiezza di movimento e al sovraccarico funzionale di specifici distretti corporei. La carenza di vitamina D può ulteriormente aggravare il quadro clinico, compromettendo la salute ossea, la funzione neuromuscolare e i processi di recupero. Inoltre, la presenza di terapie farmacologiche croniche può interferire con l'assorbimento e il metabolismo della vitamina stessa. Ne consegue che

il monitoraggio periodico dei livelli sierici di vitamine e minerali, e la valutazione dei principali fattori di rischio per le carenze, rappresenta-



© Freepik

no passaggi essenziali nella gestione nutrizionale dell'atleta paralimpico.

Le vitamine antiossidanti, in particolare la **vitamina C** e la **vitamina E**, contribuiscono a ridurre il danno muscolare, aspetto particolarmente rilevante negli atleti con lesione del midollo spinale o con amputazioni, maggiormente esposti a fenomeni ossidativi. Sebbene le carenze di vitamina C non risultino particolarmente frequenti, la vitamina E è spesso assunta in quantità inferiori ai livelli raccomandati, principalmente a causa di un ridotto consumo di frutta secca a guscio e semi oleosi; si è visto tuttavia come programmi nutrizionali strutturati possano favorire il raggiungimento dei bisogni raccomandati.

La **vitamina K** è importante per la salute ossea e la coagulazione, e una sua carenza può aumentare il rischio di infortuni. È consigliabile promuovere il consumo di alimenti ricchi di questa vitamina, come le verdure a foglia verde. Stesso consiglio per quanto riguarda il **folato** (vitamina B9), essenziale per la sintesi del DNA, la riparazione cellulare e il metabolismo energetico.

Le vitamine del gruppo B, come **tiamina**, **riboflavina** e **vitamina B12**, risultano generalmente adeguate nella maggior parte degli atleti grazie alla loro ampia diffusione negli alimenti di base, sebbene possano emergere carenze in presenza di diete poco varie o esigenze specifiche.

Non bisogna inoltre trascurare l'equilibrio dei minerali. Il **ferro** è uno dei micronutrienti più critici, fondamentale per il trasporto dell'ossigeno e la produzione energetica. La sua carenza è particolarmente frequente nelle donne, che spesso presentano introiti inferiori alle raccomandazioni e ridotti livelli di ferritina, con conseguente aumento della fatica e riduzione della performance.

Il **calcio** è essenziale per la salute ossea e la contrazione muscolare, ma negli atleti paralimpici risulta spesso insufficiente, contribuendo a un maggior rischio di osteoporosi, soprattutto in presenza di ridotto carico meccanico. In modo analogo, lo **zinco**, coinvolto nei processi di immunità e riparazione tissutale, può risultare talvolta insufficiente, con possibili ripercussioni sulla funzione immunitaria e sui processi di guarigione.

Al contrario, **fosforo** e **sodio** sono frequentemente assunti in eccesso, soprattutto in diete ricche di alimenti processati, con possibili ripercussioni sul metabolismo del calcio e sul rischio cardiovascolare.

Un ulteriore elemento di complessità è rappresentato dalle interazioni tra i minerali, che ne influenzano l'assorbimento e la biodisponibilità: calcio e magnesio, così come ferro e zinco, competono a livello intestinale, rendendo necessaria una pianificazione accurata di dieta e integrazione. Negli atleti con di-

sabilità motorie, come le amputazioni, il maggiore carico sugli arti residui può aumentare il fabbisogno di magnesio e calcio, rendendone essenziale un apporto adeguato per sostenere la contrazione muscolare e il recupero post-esercizio.

Nelle discipline in carrozzina, l'utilizzo prevalente della muscolatura del distretto superiore comporta un carico meccanico elevato e ripetuto che può determinare un aumento del rischio di microtraumi, stati infiammatori subclinici e sovraccarico funzionale, rispetto agli atleti normodotati, nei quali il lavoro muscolare risulta più distribuito sull'intera massa corporea.

Per questo motivo, particolare attenzione dovrebbe essere rivolta all'integrazione con **amminoacidi essenziali**, soprattutto quelli a più alto contenuto di **leucina**, amminoacido chiave nell'attivazione delle vie di segnalazione della sintesi proteica muscolare. Tale strategia nutrizionale può contribuire al supporto dei processi anabolici e alla modulazione della risposta infiammatoria, riducendo l'affaticamento muscolare e migliorando i tempi di recupero. Alcune evidenze suggeriscono, inoltre, una possibile riduzione del danno muscolare indotto da esercizio, con attenuazione del dolore muscolare a insorgenza ritardata (DOMS) e contenimento della risposta citochinica infiammatoria, favorendo così un miglioramento del recupero nei giorni successivi alla competizione.

Diversi studi hanno evidenziato inoltre come la supplementazione orale di **arginina** possa favorire i processi di guarigione delle lesioni cutanee, in particolare delle ulcere da pressione, e nelle condizioni caratterizzate da compromissione della cicatrizzazione. In alcuni trial clinici, dosi giornaliere di 9 grammi di arginina, inserite all'interno di formule nutrizionali specifiche, sono state associate a una riduzione più rapida dell'area di lesione.

L'arginina è un amminoacido chiave nei processi di riparazione tissutale in quanto precursore della prolina, del glutammato e dell'ossido nitrico e, per questo, contribuisce alla stimolazione della sintesi di collagene, alla proliferazione dei fibroblasti e al miglioramento della perfusione tissutale, con conseguente aumento dell'apporto di nutrienti al sito lesionale. Tuttavia, è importante sottolineare che la risposta alla supplementazione non è uniforme e che le evidenze scientifiche, pur promettenti, risultano ancora eterogenee. Per questo motivo, l'impiego dell'arginina dovrebbe essere considerato all'interno di un approccio nutrizionale individualizzato, integrato con lo stato clinico, il grado di catabolismo e la presenza di eventuali comorbidità.

## LE SFIDE PIÙ RILEVANTI NELLA GESTIONE DELL'ATLETA DURANTE ALLENAMENTI E COMPETIZIONI

Una delle principali sfide nutrizionali durante allenamenti e competizioni riguarda la gestione dei carboidrati, che richiede un'attenta pianificazione: un'assunzione non ottimale in termini di quantità, qualità o tempistiche può favorire l'insorgenza di disturbi gastrointestinali, cali energetici e una riduzione della performance.

L'atrofia muscolare, in particolare, riduce la capacità di accumulo del glicogeno, determinando una minore disponibilità energetica durante l'esercizio e una conseguente riduzione della potenza erogata e della capacità di sostenere performance prolungate o ad alta intensità. Negli atleti in carrozzina, soprattutto in presenza di lesione midollare, il quadro si amplifica: piaghe da decubito, alterazioni del controllo vescicale, rallentamento del transito gastrointestinale e ridotta capacità di sudorazione incidono direttamente sulla pianificazione nutrizionale e sull'idratazione durante la competizione.

Un errore ricorrente è rappresentato dall'eccessiva restrizione alimentare nel tentativo di controllare i sintomi gastrointestinali. La riduzione drastica dell'introito energetico può aggravare il quadro clinico, determinando carenze nutrizionali e peggioramento dello stato energetico complessivo. Nel medio-lungo termine questo si traduce in riduzione della performance, aumento dell'affaticamento, perdita di massa magra e maggiore rischio di infortuni. Per questo motivo, i disturbi gastrointestinali non dovrebbero essere affrontati attraverso semplici restrizioni alimentari ma attraverso un approccio più completo volto a migliorare la funzionalità intestinale (torniamo a sottolineare l'importanza del ripristino dell'eubiosi intestinale).

Tra le criticità più rilevanti emerge poi l'idratazione. Questi atleti sono frequentemente soggetti a infezioni del tratto urinario e necessitano di un adeguato apporto di liquidi nell'arco della giornata. Tuttavia, in contesto competitivo, molti tendono a limitare volontariamente l'assunzione di acqua per evitare il disagio legato alla gestione vescicale. Questo comportamento, seppur comprensibile, espone a disidratazione e aumenta il rischio di infezioni, con conseguenze dirette sulla continuità degli allenamenti e delle competizioni. Nelle discipline caratterizzate da competizioni ravvicinate, come gli sport di squadra, anche brevi interruzioni della preparazione atletica possono compromettere l'intero percorso agonistico, rendendo fondamentale una gestione adeguata dello stato di idratazione.

Infine, un aspetto spesso sottovalutato riguarda le alterazioni cardiovascolari associate ad alcune forme di disabilità. Nei soggetti con lesioni midollari cervicali, ad esempio, la difficoltà nel controllo della pressione arteriosa e l'instabilità emodinamica richiedono un'attenta gestione. In questi casi, la nutrizione può avere un ruolo di supporto nella regolazione pressoria e nella riduzione degli sbalzi cardiovascolari durante allenamenti e competizioni.

## DIMENSIONI EMOTIVE E NUTRIZIONALI NELLA DISABILITÀ

Nell'approcciarsi al mondo paralimpico, il professionista della nutrizione deve anche tener conto delle dimensioni emotive connesse alle differenti forme di disabilità. Il rapporto con il cibo, infatti, può variare in modo significativo tra persone con disabilità acquisita e persone con disabilità congenita, in relazione ai differenti processi di adattamento psicologico, metabolico e funzionale.

Nei soggetti che acquisiscono disabilità in età successiva, ad esempio a seguito di trauma o malattia, è spesso necessario un processo di riorganizzazione completa dello stile di vita. In questa fase iniziale di adattamento, il rapporto con l'alimentazione può risultare particolarmente complesso; cambiano il dispendio energetico, le capacità motorie e la percezione del proprio corpo. Di conseguenza, può risultare difficile riconoscere i nuovi fabbisogni nutrizionali, con possibili errori nella gestione dell'introito calorico o della qualità della dieta.

Il professionista, in questo contesto, assume anche un ruolo di supporto emotivo, accompagnando progressivamente l'atleta verso scelte mirate e favorendo lo sviluppo di una maggiore consapevolezza del proprio corpo e delle sue esigenze.

Al contrario, nelle persone con disabilità congenita, la condizione viene generalmente integrata fin dall'infanzia all'interno dello sviluppo individuale, inclusa l'alimentazione. In questi casi il rapporto con il cibo tende a essere più stabile e strutturato, pur rimanendo influenzato da fattori esterni come il contesto familiare e l'educazione alimentare.

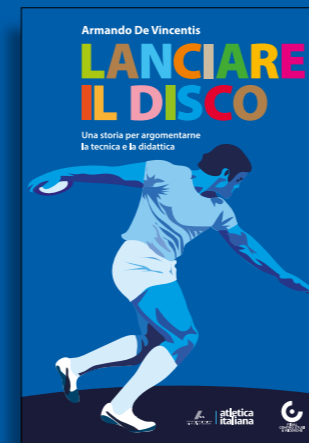
Quanto analizzato dimostra come un adeguato intervento nutrizionale possa contribuire a ridurre il rischio di alterazioni metaboliche, quali intolleranza al glucosio e insulino-resistenza, oltre che di osteoporosi, aumentata suscettibilità alle infezioni, infiammazione sistemica cronica, stress ossidativo, dislipidemia e ridotta efficienza cardiovascolare. E così, andando oltre il semplice ruolo di supporto energetico, la nutrizione nello sport paralimpico si conferma come un vero e proprio pilastro su cui si costruiscono la tutela della salute, la longevità sportiva e l'equilibrio psicologico dell'atleta.



**Martina Caironi e Ambra Sabatini,**  
Campionati italiani paralimpici indoor, Ancona 2021

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Langley, C.K., Morse, C.I. & Buffey, A.J. The Prevalence of Low Vitamin D in Elite Para-Athletes: A Systematic Review. *Sports Med - Open* 10, 96 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00756-y>
- Langley CK, Morse CI, Buffey AJ. The Prevalence of Low Vitamin D in Elite Para-Athletes: A Systematic Review. *Sports Med Open*. 2024 Sep 4;10(1):96. doi: 10.1186/s40798-024-00756-y. PMID: 39230661; PMCID: PMC11374943.
- Hertig-Godeschalk A, Glisic M, Ruettimann B, Valido E, Capossela S, Stoyanov J, Flueck JL. The feasibility of a randomized controlled crossover trial to assess the effect of probiotic and prebiotic supplementation on the health of elite wheelchair athletes. *Pilot Feasibility Stud*. 2023 Jun 15;9(1):99. doi: 10.1186/s40814-023-01339-6. PMID: 37322538; PMCID: PMC10268368.
- Broad EM, Cunha CL, Caraveo LA, Acosta EA, Martín-Almena FJ, Vieira FS. Adaptation of the International Standards for Anthropometric Assessment for Subjects With Motor Disabilities: A Consensus Statement of the ISAK Working Group on Motor Disability. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2026 May 15.
- Ghazzawi H, Al Aqaili R, Khataybeh B, Al-Aittan F, Hamaideh S, Alhalaiah T, Amawi A, Trabalsi K, Jahrami H, Hasan MA. Tailored nutrition strategies for Paralympic athletes: addressing unique energy, nutrients, and hydration needs to enhance performance and health. *Front Nutr*. 2025 Jul 7;12:1572961. doi: 10.3389/fnut.2025.1572961. PMID: 40693203; PMCID: PMC12277170.
- An YH, Kim J, Kim HJ, Lim K. Effects of leucine-enriched essential amino acid supplementation on muscular fatigue and inflammatory cytokines in wheelchair basketball players. *Phys Act Nutr*. 2020 Jun 30;24(2):38-46. doi: 10.20463/pan.2020.0013. PMID: 32698260; PMCID: PMC7451841.
- Flueck JL, Parnell JA. Protein Considerations for Athletes With a Spinal Cord Injury. *Front Nutr*. 2021 Apr 13;8:652441. doi: 10.3



**I Valori della Cultura, il Valore dell'Atletica**

## **ATLETICASTUDI & LA SUA BIBLIOTECA**

COLORO CHE DESIDERANO ACQUISTARE I LIBRI DEVONO VERSARE L'IMPORTO DI EURO 20,00 (15,00 + 5,00 SPESE DI SPEDIZIONE) SUL CONTO CORRENTE ORDINARIO BNL (IBAN IT 29Z 01005 03309 000000010107) INTESTATO A FEDERAZIONE ITALIANA DI ATLETICA LEGGERA SPECIFICANDO NELLA CAUSALE: "LANCIARE IL DISCO" O "IL TRAINING IN ALTITUDINE: FISIOPATOLOGIA, EVOLUZIONE STORICA E METODOLOGIA" O "MANUALE DELL'ALLENAMENTO GIOVANILE" O "MANUALE DI ALLENAMENTO E DELL'ATTIVITÀ FISICA NELLE FASCE DI ETÀ MASTER" - Volume Primo

OPPURE

VERSARE L'IMPORTO DI EURO 40,00 (35,00 + 5,00 SPESE DI SPEDIZIONE) SPECIFICANDO NELLA CAUSALE: "DAL MEZZOFONDO ALLA MARATONA".

I prezzi indicati comprendono anche il costo della spedizione via corriere espresso per il singolo libro (5 Euro).

Per acquisti multipli si prega contattare preventivamente gli uffici per quantificare le spese di spedizione.

Inviare la ricevuta di pagamento all'indirizzo mail: [centrostudi@fidal.it](mailto:centrostudi@fidal.it), specificando nome, cognome e indirizzo completo per l'inserimento del nominativo nell'indirizzo.



atletica  
italiana



AS  
atleticastudi