

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Medicina

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Corso di Laurea Magistrale in

Scienze e Tecniche dell'Attività Motoria Preventiva e Adattata

TESI DI LAUREA

**VALUTAZIONE BIOMECCANICA DELLA CORSA NEI
GIOCATORI DI RUGBY AI FINI DELLA PREVENZIONE
DEGLI INFORTUNI**

Relatore:

Prof.ssa Sawacha Zimi

Laureando:

Rui Martina

Correlatori:

Prof.ssa Spolaor Fabiola

Dott. Ciniglio Alfredo

Anno Accademico 2021-2022

INDICE

Introduzione

Riassunto

1. Analisi del movimento

1.1. Introduzione

1.2. Cenni storici

1.3. Strumentazione per l'analisi del movimento

1.4. Video analisi

1.5. Analisi del movimento applicata alla corsa

1.6. Prevenzione degli infortuni nella corsa

2. Il rugby

2.1. Cenni storici

2.2. Regolamento del rugby

2.3. Modello prestativo

2.4. Metodi di allenamento

2.5. Prevenzione degli infortuni

3. Materiali e metodi

3.1. Introduzione

3.2. Soggetti

3.3. Protocollo

3.4. Strumentazione

3.5. Elaborazione dei dati

4. Risultati

5. Discussione

Conclusioni

Bibliografia

Appendice

RIASSUNTO

La corsa è una tra le attività più praticate, sia a livello sportivo che amatoriale, oltre ad essere un gesto atletico che si riscontra all'interno di molti altri sport, come il rugby; nel rugby, infatti, i minuti di corsa, ovvero quelli di transizione, coprono un ruolo importante all'interno del match. La corsa però è associata ad un'alta prevalenza di infortuni, spesso legati a stress o sollecitazioni ripetute, che colpiscono prevalentemente gli arti inferiori.

Scopo dello studio: L'obiettivo di questo studio è quello di valutare il rischio di infortuni legati alla corsa nei giocatori di rugby, attraverso una metodologia ecologica, assolutamente non invasiva, ovvero tramite la valutazione della cinematica del centro di massa (CoM), al fine di poter formulare un protocollo di esercizi preventivi, per ridurre l'insorgenza degli infortuni.

Materiali e metodi: Per la ricerca sono stati coinvolti 37 giocatori tra i 15 e i 37 anni, suddivisi in tre diverse categorie (Prima squadra, Under 18 e Under 16), i quali sono stati sottoposti ciascuno a due prove di sprint consecutive di 30m e 60m, per la Prima squadra, e 10m e 30m, per le altre due categorie.

Il CoM è stato approssimato alla vertebra L5, su cui è stato posizionato un marker adesivo, e per l'acquisizione dei dati sono state utilizzate 8 telecamere GoPro, posizionate lungo il perimetro dell'area del test.

Risultati: Sono state registrate delle velocità di avanzamento maggiori tra gli atleti dell'U16 e dell'U18, rispetto a quelli della Prima squadra, inoltre le maggiori oscillazioni verticali del CoM si sono riscontrate nella squadra dell'U16. Un ulteriore dato d'interesse è stato l'andamento verticale del CoM, durante lo sprint, che, per l'U16 e l'U18, ha seguito una traiettoria crescente, partendo da una posizione più bassa ad una più alta, mentre, nella Prima squadra, ho avuto un andamento opposto, decrescente.

Conclusioni: Dai confronti con la letteratura questo metodo ha riportato dati molto simili a quelli ottenibili con un sensore inerziale, come l'accelerometro, con la differenza che la metodica utilizzata in questo studio svincola totalmente il soggetto dall'ingombro di un'attrezzatura da indossare. Dai risultati ottenuti dalla valutazione del CoM sarà poi possibile andare a calcolare ulteriori variabili della corsa, di interesse per la prevenzione dagli infortuni, come lunghezza del passo, cadenza, tempi di contatto, centro di pressione, forze di reazione al suolo.

ABSTRACT

Running is one of the most popular activities, both at a sporting and amateur level, as well as being an athletic gesture that is found in many other sports, such as rugby; in fact, in rugby the running minutes, that is the transition minutes, play an important role in the match. However, running is associated with a high prevalence of injuries, often related to stress or repeated solicitations, which mainly affect the lower limbs.

Purpose of the study: The aim of this study is to evaluate the risk of Running Related Injuries in rugby players, through an ecological methodology, absolutely non-invasive, through the evaluation of the kinematics of the center of mass (CoM), in order to be able to formulate a protocol of preventive exercises, to reduce the occurrence of injuries.

Materials and methods: For the research, 37 players between the ages of 15 and 37 were involved, divided into three different categories (First team, Under 18 and Under 16), who were each subjected to two consecutive sprint tests of 30m and 60m, for the First team, and 10m and 30m, for the other two categories.

The CoM was approximated to the L5 vertebra, where an adhesive marker was placed, and 8 GoPro cameras were used for data acquisition, positioned along the perimeter of the test area.

Results: Faster forward speeds were recorded among the U16 and U18 athletes, compared to those of the First team, moreover the greatest vertical oscillations of the CoM were found in the U16 team. A further data of interest was the vertical trend of the CoM , during the sprint, which, for the U16 and the U18, followed an increasing trajectory, starting from a lower position to a higher one, while, the First team had an opposite, decreasing trend.

Conclusions: From comparisons with the literature, this method has reported data very similar to those obtainable with an inertial sensor, such as the accelerometer, with the difference that the method used in this study totally frees the subject from the encumbrance of equipment to wear. From the results obtained from the evaluation of the CoM it will then be possible to calculate additional running variables, of interest for injury prevention, such as stride length, cadence, contact times, center of pressure, ground reaction forces.

INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi si è svolto presso il Laboratorio di Bioingegneria del Movimento del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Padova, in collaborazione con la società di rugby del CUS di Padova. L'obiettivo della ricerca è stato quello di valutare l'assetto della corsa, utilizzando un metodo non invasivo, partendo dall'andamento del centro di massa (CoM), al fine di prevenire gli infortuni legati alla corsa (RRI) e di conseguenza poi poter creare un programma di esercizi di prevenzione; in quanto la corsa risulta essere l'attività sportiva più praticata, sia a livello sportivo che amatoriale, e ad essa è associata un'elevata percentuale di infortuni (prevalentemente agli arti inferiori).

Per la ricerca in questione sono stati coinvolti 37 giocatori di rugby tutti di sesso maschile, così suddivisi a seconda della categoria di appartenenza: 8 giocatori dell'under 16, 10 giocatori dell'under 18 e 19 giocatori della Prima squadra. Tutti i soggetti sono stati sottoposti a due prove di sprint consecutive, durante le quali sono stati ripresi tramite telecamere posizionate in punti fissi del campo d'azione. Ai soggetti sono state fatte indossare delle solette di pressione, i cui dati però non sono stati utilizzati ai fini di questa ricerca, e dei marker di nastro adesivo bianco, dei quali è stato preso in considerazione per la ricerca quello posizionato a livello di L5, a cui è stato approssimato il CoM.

Ciò che si è andati a valutare è stato il posizionamento, su due dimensioni, di L5 durante il corso delle prove di sprint e, dalla triangolazione dei diversi video, è stato poi possibile ottenere il suo andamento a livello tridimensionale. Una volta ottenuta la posizione spaziale, in relazione con il tempo, del CoM, attraverso l'inserimento dei dati su MatLab, è stato possibile calcolarne le sue accelerazioni e velocità sui tre piani di riferimento. Infine tutti i dati ottenuti dai singoli soggetti sono stati confrontati tra loro, è stata fatta una media dei valori per i tre gruppi di lavoro e sono stati creati dei grafici di confronto tra le tre diverse categorie, tenendo in considerazione la posizione del CoM sui tre assi (x, y, z), la sua velocità sui tre assi e la sua accelerazione sui tre assi. Inoltre, è stato confrontato questo progetto di tesi, attraverso l'utilizzo della sola analisi video, con degli studi sulla valutazione della corsa attraverso l'utilizzo dei sensori inerziali (IMU).

Durante il periodo di ricerca si è dovuto far fronte anche alle restrizioni per il Covid 19, che hanno creato delle difficoltà nella reperibilità dei soggetti e nel raggiungimento delle sedi. Mentre le acquisizioni dei dati sono state svolte sul campo, la parte di analisi dei dati è stata svolta da remoto da casa.

1. ANALISI DEL MOVIMENTO

1.1. Introduzione

L'analisi del movimento è un settore della biomeccanica che è sempre più in espansione, il suo obiettivo è quello di raccogliere informazioni quantitative e qualitative in termini di valutazione funzionale del sistema muscolo-scheletrico sia in condizioni normali che patologiche. Per ottenere queste informazioni, l'analisi del movimento, si avvale di sistemi computerizzati che permettono di raccogliere dati cinematici, ovvero relativi alla posizione del corpo nello spazio e la sua velocità e accelerazione durante lo spostamento, dati dinamici, relativi alle forze impresse durante il movimento e dati elettromiografici, che descrivono l'attivazione muscolare durante il task motorio.

Per analisi qualitativa si intende la raccolta delle informazioni e dei dati per mezzo della sola valutazione dell'operatore, senza l'utilizzo di attrezzature; un esempio di analisi qualitativa sono l'analisi visiva e quella videoregistrata. Nel caso dell'analisi visiva è possibile valutare il soggetto in posizione statica o in movimento attraverso l'osservazione del gesto, utilizzando come riferimento i tre piani anatomici (frontale, sagittale e trasverso); nello specifico vengono considerate le posizioni nello spazio assunte dal corpo e dalle articolazioni prese in esame, nei singoli istanti d'azione. Gli aspetti positivi di questa metodologia sono la semplicità e l'economicità, in quanto la valutazione non richiede l'utilizzo di strumentazione costosa o complessa. D'altro canto, però, presenta alcune limitazioni importanti, in particolare si tratta di una valutazione soggettiva in quanto dipendente dall'operatore e dal suo bagaglio tecnico a cui è richiesta una conoscenza approfondita dell'anatomia e della fisiologia del movimento¹. Si tratta perciò di un approccio poco oggettivabile e verificabile poiché lo "strumento" utilizzato è l'occhio umano, che permette di focalizzarsi e cogliere la globalità dell'azione, non riuscendo a percepire i micro-movimenti e i dettagli, inoltre non permette la revisione del gesto e il confronto tra gli atleti. Anche l'analisi videoregistrata è una metodologia economica, in quanto l'unica attrezzatura richiesta sono le strumentazioni video (telecamere) non eccessivamente complesse e di fascia economica modesta, come la precedente, ha un carattere di tipo globale e la valutazione viene sempre svolta sui tre assi di riferimento anatomici. La differenza importante con l'analisi visiva è la possibilità di revisionare il task motorio e di poter

¹ Giuseppe Sorrentino, Dispensa sull'analisi del movimento, corso di neurologia, Facoltà di scienze motorie e del benessere, 2011

confrontare tra loro diversi dati acquisiti (anche tra soggetti diversi), rendendola così una valutazione molto più accurata della precedente.

L'errore a cui si può andare incontro con questa metodologia è l'errato posizionamento delle telecamere da parte dell'operatore, andando così a limitare la visione del gesto e di conseguenza la sua valutazione.

L'analisi quantitativa è l'analisi di tipo strumentale del movimento, che raccoglie e descrive informazioni di tipo cinematico, attraverso la video-analisi, di tipo dinamico, per mezzo dell'utilizzo di solette di pressione e pedane di forza, e di tipo elettromiografico, con l'elettromiografia di superficie o con gli aghi.

Nello studio strumentale il corpo umano viene rappresentato in maniera semplificativa come un insieme di segmenti rigidi, ovvero quando la distanza tra due punti presi in considerazione resta costante in ogni movimento, che compiono movimenti rigidi, perché, durante un movimento, le deformazioni cui sono soggetti i segmenti corporei non sono rilevanti ai fini dello studio di quel determinato movimento o gesto.

In questo modo lo studio del movimento del corpo umano si può basare su un modello più semplificativo, costituito da un numero relativo di segmenti rigidi, i cui movimenti sono attuati da coppie di forze (ovvero quelle esercitate dai muscoli sui segmenti ossei), che dipendono dalle caratteristiche delle articolazioni.

L'approssimazione del corpo come un insieme di corpi rigidi permette di semplificare la ricostruzione della posizione di questi ultimi, necessitando solo di sei parametri per definire la cinematica del segmento osseo rispetto ad un sistema di riferimento. Questi sei parametri descrivono tre spostamenti angolari e tre lineari e si suddividono in tre punti non allineati, in relazione al sistema di riferimento globale, che permettono di registrare il sistema di riferimento anatomico sul segmento osseo e tre punti impiegati per definire l'orientamento. Partendo sempre dal concetto di corpo umano come insieme di corpi rigidi, oltre alla cinematica dei singoli segmenti ossei, si può studiare anche la cinetica articolare, andando a considerare i movimenti di due segmenti ossei adiacenti, uno per la parte distale e uno per quella prossimale. Il movimento dell'articolazione risulta essere una successione di movimenti di traslazione e di rotazione, che a sua volta è composta dall'unione di rotazioni elementari che avvengono sui piani anatomici.^{1 2}

² G. Legnani et al. Fondamenti di Meccanica e Biomeccanica del Movimento, edizioni città studi, 2018

1.2. Cenni storici

L'analisi del movimento com'è conosciuta ora è il risultato di secoli di studi sull'anatomia, la meccanica e la tecnologia. L'origine dello studio del movimento del corpo umano si può datare all'epoca della Grecia Classica, in cui i grandi pensatori di quell'epoca cercarono di dare un'interpretazione del funzionamento del corpo umano attraverso la filosofia e la medicina. Il principale interprete di questo periodo fu Aristotele, che viene tutt'ora considerato il padre della kinesiologia, egli infatti fu il primo ad analizzare e descrivere le dinamiche dei moti e l'azione dei muscoli in movimento in modo sistematico.

Successivamente, in epoca romana, Galeno, grazie al suo lavoro come medico in una scuola per gladiatori, studiò a fondo la medicina concentrandosi sul funzionamento muscolare, introducendo la distinzione tra muscoli agonisti e antagonisti e la distinzione tra nervi sensoriali e motori.

In seguito, le ricerche di molti altri scienziati contribuirono allo studio del movimento da un punto di vista anatomico e biomeccanico. In particolare, spiccano nomi come Leonardo Da Vinci (1452-1519), Galileo Galilei (1564-1642), Giovanni Borelli (1608-1679) e Isaac Newton (1642-1727).

Leonardo Da Vinci, fu uno scienziato poliedrico, trattando di biologia, anatomia, meccanica. Si dedicò approfonditamente all'anatomia e alla fisiologia umana, descrivendo e rappresentando muscoli, nervi e la meccanica del corpo in varie situazioni statiche e di moto, come la deambulazione e il salto.

Galileo Galilei, conosciuto come il padre del metodo scientifico, si concentrò sullo studio del moto con un approccio matematico.

Giovanni Borelli fu un personaggio cruciale nella storia del movimento umano. Nella sua opera "De motu animalium", che si ritiene essere il primo trattato di biomeccanica, descrisse in modo geometrico il movimento degli animali e dell'essere umano, riconoscendo nella contrazione muscolare la componente generatrice del movimento e si concentrò sulla descrizione delle fibre muscolari, riconoscendo le componenti tendinee, la composizione in fasci con diversi orientamenti in rapporto con la forza prodotta. Si dedicò ampiamente allo studio della deambulazione affermando che il funzionamento delle ossa può essere ricondotto al principio delle leve, inoltre riconobbe nell'osso iliaco il centro di massa.³

³ Giuseppe Sorrentino, Dispensa sull'analisi del movimento, corso di neurologia, Facoltà di scienze motorie e del benessere, 2011

Anche Isaac Newton si dedicò allo studio del moto, ponendo l'accento sull'intervento delle forze. A lui si deve la paternità delle tre leggi fondamentali della meccanica:

- Legge d'inerzia
- Legge di azione e reazione
- Legge di gravitazione universale

Lo studio del movimento ebbe una notevole evoluzione nell'età contemporanea, con lo sviluppo delle prime analisi basate su osservazioni strumentali quantitative. I primi interventi di questo tipo si devono ai fratelli Edward e Wilhelm Weber che, agli inizi del XIX secolo, effettuarono diversi studi sperimentali sul movimento attraverso l'utilizzo di cronometri, nastri di misurazione e un telescopio. Da queste osservazioni presentarono circa 150 ipotesi sul cammino, tra cui il cambio della lunghezza e della cadenza del passo in relazione al cambio della velocità e la posizione degli arti all'interno del ciclo del passo, suddiviso in 14 istanti.

Un'altra figura di spicco in questo panorama fu il fisiologo francese Etienne Jules Marey, il quale, attraverso il "metodo grafico", studiò la locomozione sottoponendo i propri soggetti (bambini, adulti, sportivi) a prove di corsa e di cammino e, attraverso questi studi, poté misurare le oscillazioni verticali e orizzontali della pelvi durante la deambulazione e, come già precedentemente introdotto dai fratelli Weber, correlò la lunghezza del passo con la velocità di progressione. Inoltre, fu il primo ad utilizzare una piattaforma dinamometrica⁴.

Il passaggio decisivo tra la statica e la dinamica si ebbe alla fine del XIX con Edward Muybridge e l'introduzione della fotografia, il quale studiò, attraverso l'acquisizione delle immagini, prima il movimento degli animali, come i cavalli, e poi quello umano, utilizzando dodici camere fotografiche disposte lungo la direzione del movimento.

La vera paternità dello studio del movimento, però, va riconosciuta ai tedeschi Wilhelm Braune e Otto Fischer, i quali furono i primi a descrivere in maniera analitica le traiettorie tridimensionali del corpo umano. Per fare ciò determinarono il baricentro e i momenti di inerzia dei vari segmenti corporei e, successivamente, sovrapposero le immagini acquisite da un soggetto in movimento, con una tuta nera e delle barre luminose, con un sistema di riferimento; in questo modo poterono determinare il moto del baricentro, le forze inerziali e le forze di reazione al suolo.

⁴ L. Bartoli, La biomeccanica applicata al ciclismo. Dall'esame posturale all'analisi del movimento, Hoepli, 2018

Con l'avvento del XX secolo gli studi del movimento si concentrarono sull'ambito lavorativo, con lo scopo di ridurre la fatica nei lavoratori, data la forte industrializzazione di quel periodo. A tal proposito si inseriscono gli studi del medico russo Nikolaj Bernstein il quale analizzò e scompose i movimenti compiuti durante un'attività lavorativa in movimenti elementari, con l'obiettivo di ricercare la postura meno dispendiosa dal punto di vista energetico e meno usurante. Le sue conclusioni posero anche le basi per l'introduzione delle protesi, che successivamente, con l'avvento delle guerre, divennero il focus principale delle ricerche biomeccaniche, in particolare a questi studi si dedicò ampiamente un gruppo di ricercatori dell'Università di Berkeley, capeggiato da Howard Eberhart e Verne Inmann, che andò a valutare le rotazioni dei segmenti corporei e i pattern motori degli arti inferiori durante la locomozione per poter determinare i carichi che gravavano sulle strutture di sostegno delle protesi⁵.

La biomeccanica applicata alle problematiche dello sport si manifestò in modo specifico e strutturato alla fine degli anni '50 con Vladimir Zatzjorki e Gert Marhold e successivamente, nel 1967, con Richard Nelson, i cui obiettivi erano fortemente orientati verso la prevenzione degli infortuni nello sport. A livello italiano nacque nel 1976 a Milano il primo Centro di Bioingegneria, capeggiato da Antonio Pedotti, nel quale vennero utilizzati approcci bioingegneristici multifattoriali nello studio delle variabili cinematiche ed elettromiografiche degli sport.

Attualmente le risorse strumentali e metodologiche di cui si dispone si sono evolute e moltiplicate in modo esponenziale⁶.

1.3. Strumentazione per l'analisi del movimento

L'analisi del movimento può essere svolta sia sul campo, come nel caso della video analisi che verrà descritta successivamente, sia in un laboratorio dotato dell'attrezzatura necessaria ai fini dell'analisi. La strumentazione utilizzata può variare a seconda del task motorio richiesto, in base all'obiettivo e a ciò che si vuole evidenziare con lo studio.

- **Stereofotogrammetria**: ovvero l'utilizzo di sistemi optoelettronici. Attraverso la stereofotogrammetria è possibile acquisire la posizione spaziale dei marker, posizionati sulla superficie del corpo del soggetto, attraverso un sistema di telecamere (solitamente dalle 2 alle 9 camere sincronizzate tra loro); in questo modo è possibile avere una stima

⁵ L. Bartoli, La biomeccanica applicata al ciclismo. Dall'esame posturale all'analisi del movimento, Hoepli, 2018

⁶ Giuseppe Sorrentino, Dispensa sull'analisi del movimento, corso di neurologia, Facoltà di scienze motorie e del benessere, 2011

accurata delle grandezze cinematiche. I marker possono essere passivi, di forma sferica catarifrangenti, o attivi, che emettono segnali luminosi con luce infrarossa, in questo caso le telecamere richieste non sono quelle standard che operano nel visibile, ma quelle ad infrarossi.

Per poter passare dai dati bidimensionali a quelli tridimensionali, dopo la prima fase di acquisizione, in cui i marker vengono riconosciuti attraverso degli algoritmi (riconoscendo i marker attraverso le sfumature grigie emesse dal loro riflesso o riconoscendoli attraverso l'analisi della loro grandezza e forma), si passa alla fase di calibrazione delle telecamere, seguita dalla fase di tracking, in cui vengono ricostruite le traiettorie dei singoli marker e, infine, si arriva all'ultima fase di rielaborazione dei dati.

Questo metodo è assolutamente non invasivo, in quanto i marker vengono posizionati sulla superficie del corpo.

- Piattaforme di forza: ovvero un sistema di trasduttori che permette di rilevare le forze di reazione al suolo all'interno di un sistema di riferimento ortogonale. Le piattaforme di forza sono dotate da 4 celle di carico poste ai vertici, ognuna delle quali è costituita da 3 trasduttori, che hanno il compito di rilevare le tre componenti della forza (ad ogni trasduttore è associata una componente). I trasduttori possono essere estensimetri, convertono una variazione di lunghezza in segnale elettrico partendo dalla sua resistenza elettrica, o a cristalli piezoelettrici, creano cariche elettriche in superficie nel momento in cui subiscono una sollecitazione meccanica. Il segnale elettrico, ottenuto dalla deformazione del materiale a seguito dell'applicazione della forza, viene inviato al software per poterlo poi misurare. Nel caso del nostro laboratorio, le pedane di forza utilizzate sono le Pedane di forza Bertec.
- Pedane di pressione: valutano la distribuzione delle forze generate dal contatto tra il corpo e il suolo, sia in condizioni di statica, sia nella valutazione dinamica (ad esempio per la valutazione del cammino). A differenza delle piattaforme di forza, le pedane di pressione permettono di calcolare solamente la componente verticale delle forze. I sensori presenti nelle pedane di pressione possono essere piezoelettrici, come quelli descritti in precedenza per le piattaforme di forza, capacitivi, costituiti da due armature metalliche, che si avvicinano tra loro se sottoposte a pressione, divise da del materiale dielettrico metallico che aumenta la sua capacità proporzionalmente alla forza, o

resistivi, anch'essi formati da due armature metalliche divise da del materiale conduttivo che diminuisce la resistenza elettrica in modo inversamente proporzionale alla forza applicata. Nel caso dello studio relativo a questa tesi, avendo svolto i test sul campo, ai soggetti sono state fatte indossare delle solette di pressione, che permettono di ottenere dati analoghi alle pedane di pressione

Attualmente, soprattutto a livello sportivo, si sta cercando sempre più di svincolarsi dal laboratorio, per poter svolgere i test e le prove di valutazione direttamente sul campo da gioco, in modo da rendere più veritiero il gesto svolto, per mettere più a proprio agio il soggetto e per svolgere un lavoro meno invasivo possibile.

1.4. Video analisi

Lo scopo dell'analisi del movimento è quello di raccogliere informazioni quantitative attinenti alla meccanica del sistema muscolo-scheletrico durante l'esecuzione di un atto motorio. Nello specifico, le informazioni che vengono ricercate riguardano⁷:

- Il movimento assoluto del centro di massa
- Il movimento dei segmenti corporei
- La cinematica articolare
- I carichi intersegmentali, ovvero i carichi risultanti agenti sulle articolazioni o sui segmenti corporei
- Le forze trasmesse alle strutture interne come ossa, muscoli, tendini
- Il lavoro e la potenza dei muscoli

Le informazioni quantitative delle funzioni dell'apparato locomotore danno una valutazione sia in condizioni normali, sia in condizioni di variazione, che possono riguardare una condizione di potenziamento o una condizione di riduzione delle funzioni.

La caratteristica principale della video analisi è quella di essere non invasiva, infatti, attraverso l'utilizzo di sistemi "Vision Based" per ricostruire il movimento, viene tolto ogni ingombro al soggetto, non utilizzando alcun tipo di apparecchiatura addosso al soggetto.

L'analisi del movimento avviene attraverso l'acquisizione delle immagini e dei video di normali telecamere commerciali, fruibili da tutti, in cui vengono registrate le posizioni di specifici markers, che vengono posizionati sul corpo del soggetto e fungono da riferimenti per poter poi leggere il movimento sui diversi piani. Questi markers possono essere disegnati

⁷ Giuseppe Sorrentino, Dispensa sull'analisi del movimento, corso di neurologia, Facoltà di scienze motorie e del benessere, 2011

direttamente sulla pelle del soggetto, in corrispondenza dei punti di reperi anatomici o possono essere dei markers sferici o rettangolari, di un colore diverso dallo sfondo e facilmente distinguibile, che vengono applicati sul soggetto⁸.

1.5. Analisi del movimento applicata alla corsa

Una delle principali applicazioni dell'analisi del movimento riguarda il cammino e la corsa, valutazioni che vedono un largo utilizzo a livello sportivo, in quanto risulta essere un'azione motoria che si può riscontrare in molti sport.

Come già precedentemente introdotto, l'analisi del cammino e della corsa permettono di ottenere informazioni quantitative riguardanti le funzioni a carico dell'apparato locomotore in diverse condizioni. Le principali funzioni sono quattro e si caratterizzano in:

- Generazione della forza per poter dare origine all'impulso;
- Mantenimento della stabilità del tronco e, in generale, della porzione superiore del corpo, in condizioni di modifica dell'assetto posturale, conseguenti alla dinamica del passo;
- Assorbimento delle forze generate dall'impatto del piede con il terreno in seguito ad ogni passo;
- Conservazione dell'energia in modo tale da poter minimizzare al massimo lo sforzo a carico della muscolatura.

La deambulazione si caratterizza come una successione ciclica di movimenti alternati che permettono l'avanzamento del corpo, perciò, l'unità funzionale che viene presa come riferimento nell'analisi biomeccanica del cammino e della corsa è il ciclo del passo. Il ciclo del cammino è definito come quel periodo che intercorre tra due appoggi a terra successivi dello stesso piede. Nella deambulazione il ciclo può essere diviso in due fasi: una fase di appoggio e una di sospensione (o oscillazione). La fase di appoggio, durante la quale il piede rimane a contatto con il suolo, segue un andamento inversamente proporzionale alla velocità di spostamento, infatti, nel cammino questa fase occupa circa il 60% dell'intero ciclo del passo, mentre nella corsa si riduce fino al 37%.

Questo periodo può essere suddiviso a sua volta in altre quattro diverse fasi:

- Una fase di contatto del tallone (heel strike), caratterizzata da una breve durata, in cui il tallone del piede proteso verso avanti è a contatto con il suolo.

⁸ G. Legnani et al. Fondamenti di Meccanica e Biomeccanica del Movimento, edizioni città studi, 2018

- Una fase di pieno appoggio (mid stance), che ha inizio nel momento in cui il piede controlaterale comincia a sollevarsi e termina con l'appoggio completo del piede in avanti. Questa risulta essere la fase complessivamente più lunga.
- Una fase di distacco del tallone (heel off) in cui l'arto controlaterale tocca il suolo e contemporaneamente il tallone del piede portante si stacca dal suolo
- Una fase di distacco delle dita (toe off) che si caratterizza dal distacco delle dita dal terreno con conseguente spostamento del peso del corpo in avanti

Nella fase di sospensione, invece, l'arto viene sollevato e portato in avanti, in modo da poter iniziare l'appoggio successivo. Anche in questo caso può essere suddivisa in ulteriori tre fasi:

- La fase iniziale inizia nel momento del distacco delle dita del piede ed è caratterizzata dallo spostamento dell'arto in avanti grazie all'intervento dei muscoli flessori dell'anca.
- La fase intermedia è caratterizzata dallo spostamento dell'arto preso in esame da una posizione posteriore al corpo ad una posizione anteriore. In questa fase l'intervento muscolare è a carico del tibiale anteriore che permette di flettere la caviglia.
- La fase finale è una conclusione del movimento precedente in cui il ginocchio e la caviglia raggiungono la loro massima estensione preparando l'arto al contatto al suolo (appoggio del tallone e ripresa del ciclo del cammino)⁹.

La principale caratteristica che differenzia la corsa dal cammino è la fase di volo, assente nel secondo. Inoltre, nella corsa il piede non poggia a terra con un'azione di rullata dal tallone alla punta, come nel cammino, ma la fase di appoggio avviene solamente con l'avampiede, più precisamente con la parte metatarsale esterna.

Anche nella corsa, come nel cammino, l'azione ciclica del passo può essere suddivisa in tre differenti fasi:

- Una fase di ammortizzamento, a carico del tricipite surale, in cui il piede d'appoggio si trova avanti rispetto al baricentro del corpo.
- Una fase di sostegno in cui il piede è posizionato perfettamente in asse con il baricentro del corpo e i muscoli intervengono per mantenere la stabilità.
- Una fase di spinta, in cui il piede si trova dietro rispetto al baricentro del corpo e, sfruttando la forza reattiva-elastica (stiffness) dei muscoli della gamba, posta in avanti il corpo distendendo completamente l'arto inferiore.

⁹ <https://www.my-personaltrainer.it/muscoli-corsa-cammino.htm>

Partendo da questa premessa, lo studio biomeccanico del cammino e della corsa prende in considerazione molteplici variabili a seconda della procedura e della strumentazione che viene utilizzata. Le pedane di forza sono dispositivi caratterizzati dalla presenza di sensori (almeno 6 per piattaforma) estensimetrici o piezoelettrici che vengono inseriti in opportune sedi. La piattaforma di forza viene utilizzata per misurare le forze scambiate tra i piedi del soggetto e il terreno, nelle loro tre componenti x , y e z e le misure sono fornite rispetto ad un sistema di riferimento definito sulla pedana stessa. Sempre ai fini della dinamica, un altro sistema di misurazione è dato dalle solette di forza, un array di sensori che vengono inseriti all'interno della scarpa e che permettono di misurare la distribuzione della pressione del piede. Questi sensori, a differenza delle pedane di forza, misurano soltanto la pressione di contatto permettendo di stimare esclusivamente la componente verticale della forza.

Un altro metro di misura spesso utilizzato in un'analisi biomeccanica è la misura dell'attività muscolare attraverso l'elettromiografia. Attraverso l'EMG, infatti, può essere monitorata l'attivazione muscolare e si può avere una stima qualitativa della forza generata dal muscolo; questo è possibile attraverso la captazione del segnale elettromiografico per mezzo degli elettrodi inseriti nel muscolo o appoggiati nella cute. Su di essi si generano delle tensioni elettriche misurabili ottenendo dei segnali bifasici (nel caso di un elettrodo unipolare) o trifasici (nel caso di un elettrodo bipolare). Il segnale EMG permette di estrarre solo informazioni semiquantitative della forza, ovvero è possibile risalire ai periodo di attivazione dei muscoli e la loro sequenza di attivazione, ma non si può misurare con esattezza il valore. L'acquisizione del segnale elettromiografico è influenzata da diversi fattori, che variano a seconda della tipologia di elettrodi utilizzati. Nel caso degli elettrodi ad ago è possibile monitorare un'area più piccola e più specifica e permettono di captare il segnale anche dai muscoli più profondi, inoltre sono poco sensibili alle interferenze. Si tratta però di una strumentazione più difficile da applicare, che richiede sterilizzazione e provoca dolore. È un tipo di misurazione utilizzata soprattutto per la diagnosi di malattie neuromuscolari. Al contrario, gli elettrodi di superficie, essendo posizionati esternamente a livello cutaneo, sono di più rapida applicazione e non provocano dolore, permettono, però, di monitorare un'area meno specifica e più estesa, monitorano solo i muscoli superficiali e sono più soggetti ad interferenze, inoltre, la misura ottenuta può essere influenzata anche dalla pulizia della cute, che modifica l'impedenza di contatto. Questi ultimi sono destinati, solitamente, ad un uso estensivo.

In entrambi in casi, se gli elettrodi vengono posizionati in modo errato, il segnale misurato potrebbe essere il risultato della somma dei segnali di più muscoli adiacenti.

Tra le metodiche utilizzate per lo studio e la valutazione del cammino e della corsa, come già precedentemente introdotto, la Video Analisi risulta essere quella più economica e accessibile, in quanto si basa su l'utilizzo di telecamere facilmente reperibili. Tramite questa metodologia sono diversi i parametri che possono essere valutati ai fini della valutazione biomeccanica:

- La cadenza e la lunghezza del passo
- Gli angoli articolari: nello specifico, per la corsa, quello all'anca, al ginocchio e alla caviglia
- I tempi di appoggio del piede
- L'assetto posturale
- Gli spostamenti del centro di massa lungo i tre assi cartesiani e la sua accelerazione e, da questi parametri, è possibile calcolare indirettamente le forze di reazione al suolo¹⁰.

La video analisi della corsa si basa sull'acquisizione video tramite una o più telecamere di una prova da parte di un soggetto, il quale è tenuto a correre (su trademill o sul campo) per una durata o una distanza predefinita dall'operatore. L'analisi può essere svolta tramite la sola lettura e interpretazione da parte dell'operatore, questo richiede un'alta specializzazione ed esperienza da parte dell'operatore e presenta un margine d'errore più ampio. Più comunemente utilizzata è l'analisi tramite l'utilizzo di marker sferici, che vengono posizionati sul soggetto in corrispondenza dei punti di repere anatomici, in numero variabile a seconda dell'obiettivo dello studio (è sempre bene non utilizzare un numero eccessivo di markers per evitare sovrapposizioni). Una volta acquisiti i video (con una frequenza solitamente intorno ai 100Hz)¹¹, vengono elaborati da dei software specifici che, tenendo in considerazione le coordinate di riferimento spaziali, le variabili intrinseche ed estrinseche e la triangolazione delle telecamere, permettono la ricostruzione tridimensionale delle posizioni dei marker per tutta la durata del test. Infine, i dati ottenuti possono essere utilizzati per confrontare il soggetto con i parametri standard, secondo sesso ed età, andando a valutare la performance e l'eventuale rischio di infortuni, o per confrontarlo con altri soggetti.

¹⁰ G. Legnani et al. Fondamenti di Meccanica e Biomeccanica del Movimento, edizioni città studi, 2018

¹¹ Alessandra B. Matias et al. Protocol for evaluating the effects of a therapeutic foot exercise program on injury incidence, foot functionality and biomechanics in long-distance runners: a randomized controlled trial, BMC Musculoskeletal Disorder, 2016

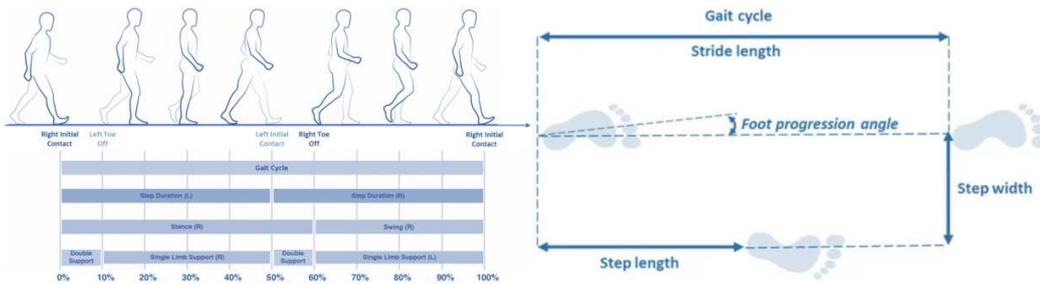


Figura 1_Analisi del cammino¹²

Figura 2_Analisi del cammino¹²

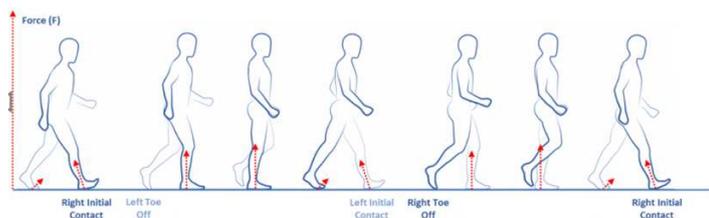


Figura 3_Compenti dinamiche del cammino¹²

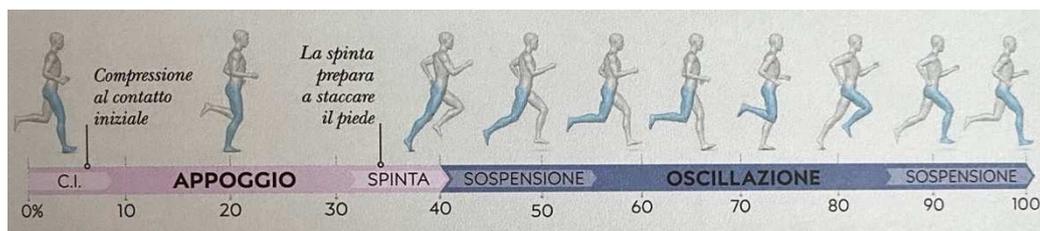


Figura 4_Ciclo della corsa¹³

1.6. Prevenzione degli infortuni nella corsa

La corsa è tra gli sport più praticati in tutto il mondo, oltre ad essere un'attività presente anche all'interno di altri sport, come rugby, calcio, hockey su prato, basket; secondo uno studio americano del 2014¹⁴, negli USA il numero complessivo di persone che corrono superano i 40,000,000, in Italia, uno studio Fidal del 2016 ha evidenziato come circa il 51% della popolazione italiana corre almeno una volta al mese, il 17% corre dalle 2 alle 3 volte a settimana e il 6% svolgono attività di corsa tutti i giorni¹⁵.

Risulta ormai chiaro come l'attività fisica e la pratica di sport come la corsa siano utili per la prevenzione e la riabilitazione di molte patologie, d'altro canto, però, la corsa è associata

¹² Lazzaro di Biase et al. Gait Analysis in Parkinson's Disease: An Overview of the Most Accurate Markers for Diagnosis and Symptoms Monitoring, MDPI, 2020

¹³ C. Napier, Scienza della corsa. Migliorare la tecnica e l'allenamento, prevenire gli infortuni, Gribaudo, 2020

¹⁴ Running USA. 2014 state of the sport—part II: running industry report. Available at: <http://www.runningusa.org/2014-running-industry-report?returnTo=annual-reports>. Accessed 6 Aug 2014.

¹⁵ L'indagine Fidal dall'Istituto Piepoli tra marzo e settembre del 2016 attraverso 2500 interviste telefoniche

ad un'alta prevalenza di infortuni ed incidenti, spesso legati a stress e sollecitazioni ripetute. Gli infortuni legati alla corsa dipendono da molti fattori come:

- Età
- Sesso: i dati raccolti da un'analisi svolta su 14 atleti d'elite mostrano come gli atleti di sesso maschile presentano un'incidenza minore di infortuni rispetto alla loro controparte femminile¹⁶
- Livello di allenamento
- Variabili biomeccaniche, anatomiche e antropometriche: come ginocchio varo, inclinazione del bacino, scoliosi, piede cavo, piede piatto, instabilità rotulea.
- Sede della lesione: la sede più comune è il ginocchio (41.2 %), seguito da caviglia (15.0 %) e piede (10.6 %).

Gli infortuni più comuni legati alla corsa sono il dolore femoro-rotuleo (PFPS), la sindrome della bandelletta ileo-tibiale (ITBFS), la tendinopatia rotulea, le lesioni spinali e l'instabilità della caviglia, altre lesioni correlate alla corsa, ma meno comuni sono la sindrome da stress della zona medio-tibiale, il dolore all'arco plantare, la tendinopatia glutea e le fratture da stress.

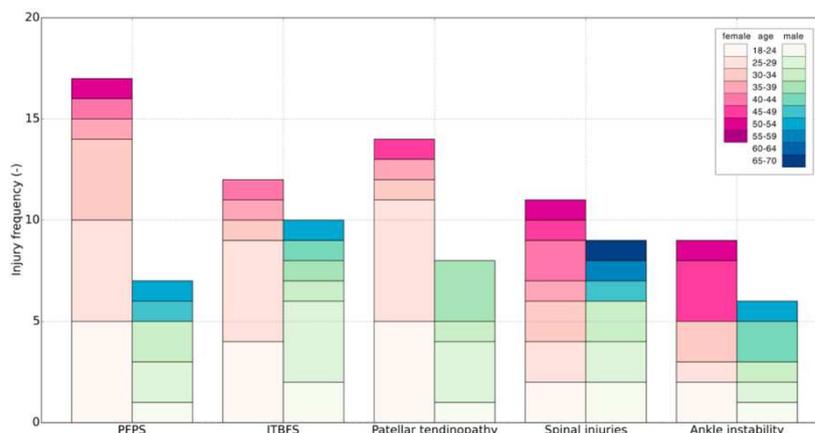


Figura 5 _Distribuzione dei principali infortuni legati alla corsa a seconda di età e sesso (Analysis of Running-Related Injuries: The Vienna Study, 2020)

In quest'ottica gioca un ruolo fondamentale la valutazione biomeccanica della corsa, attraverso cui è possibile andare a valutare gli angoli all'anca, al ginocchio e alla caviglia e i loro allineamenti, il livello di pronazione del piede, le forze di reazione con il suolo e l'attivazione muscolare durante l'atto motorio studiato, in modo tale da poter poi organizzare

¹⁶ Karsten Hollander et al. Sex-Specific Differences in Running Injuries: A Systematic Review with Meta-Analysis and Meta-Regression, Sports Medicine, 12 January 2021

il programma di allenamento più consono per il soggetto valutato. Oltre ai fattori estrinseci, come la calzatura indossata o il terreno di gioco, da tenere in considerazione nell'ottica degli infortuni, risultano fondamentali anche i fattori intrinseci, che possono essere valutati a livello biomeccanico e sui quali si può andare a lavorare con un programma apposito di esercizi. Secondo una revisione sistematica di Van der Worp et al.¹⁷, in cui sono stati valutati undici studi longitudinali, le alterazioni nella distribuzione della forza, l'eccessiva pronazione del piede e il disallineamento di caviglia, ginocchio e anca, insieme alla presenza di infortuni pregressi, sono i principali fattori intrinseci di rischio per gli infortuni legati alla corsa. Nella *Tabella 1* vengono elencati i principali infortuni legati alla corsa con i relativi fattori di rischio intrinseci ed estrinseci:

Infortunio	Fattori intrinseci	Fattori estrinseci
Dolore femoro-rotuleo	Forte abduzione dell'anca	Corsa in discesa o su superfici dure
Sindrome della bandelletta ileo-tibiale	Flessione controlaterale pelvica, adduzione dell'anca, falcata stretta	Corsa in discesa
Stress zona medio-tibiale	Eccessiva pronazione o abduzione del piede, corsa falcata, bassa cadenza, eccessive forze d'impatto	Corsa su superfici dure o irregolari
Frattura da stress	Eccessivo atterraggio sull'avampiede con mancanza di ammortizzazione, cattiva alimentazione	Sovraccarico cumulativo
Tendinopatia glutea	Muscolatura debole che non riesce a sopportare alle forze d'impatto del piede con il suolo, eccessiva adduzione dell'anca, ginocchio valgo	Corsa in discesa

Tabella 1

Una volta fatta una valutazione biomeccanica della corsa del soggetto preso in esame, viene proposto un programma di allenamento consono per il tipo di attività che dovrà andare a svolgere tenendo in considerazione gli eventuali deficit o fattori di rischio evidenziati con la valutazione. Oltre a raccomandare al soggetto un opportuno riscaldamento a inizio seduta e un buon defaticamento alla fine è bene istruirlo su una serie di esercizi di diversa entità utili alla prevenzione degli infortuni legati alla corsa, focalizzandosi sulla correzione delle problematiche evidenziate attraverso la valutazione biomeccanica. Questi si dividono in esercizi per la corsa, ovvero le cosiddette "andature", come skip alto e basso, calciata dietro, passo saltellato, corsa balzata, esercizi di forza (nella *Tabella 2* vengono elencati alcuni esercizi utili per prevenire i principali infortuni) ed esercizi di stretching, che vanno svolti

¹⁷ Van Der Worp MP, Ten Haaf DSM, Van Cingel R, De Wijer A, Nijhuis-Van Der Sanden MWG, Bart Staal J. Injuries in runners; a systematic review on risk factors and sex differences. PLoS One. 2015;10:1–18.

alla fine di ogni seduta, con un focus particolare sulla muscolatura del polpaccio e della coscia, sul piriforme e sul tensore della fascia lata.

Infortunio	Esercizi di forza
Sindrome della bandelletta ileo-tibiale e dolore femoro rotuleo	Hip Hike, Standing Hip Rotation, Hip Extension, Step Up e Down, Box Jump, Single Leg Ball Squat, Lunge, single Leg Hop (solo per dolore femoro-rotuleo)
Instabilità e dolore alla caviglia	Ankle Eversion, Ankle Inversion, Ankle Turn In, Resisted Toe, Foot Doming, Single Leg Hop
Tendinopatia al ginocchio	Hamstrings Ball Roll In, Hip Extension, Deadlift standard, Romanian Deadlift

Tabella 2

2. IL RUGBY

2.1. Cenni storici

L'origine del rugby si può ritrovare nella tradizione greco-romana, come per diversi sport con la palla.

Antica Grecia: sono state documentate pratiche come l'*episkyros* a l'*apòrraxis*, che possono essere identificate come precursori del moderno rugby; nel primo caso i giocatori, con la palla, erano divisi in due campi delimitati da linee, nel secondo caso i giocatori erano tenuti a lanciare con violenza la palla sul pavimento per poi farla rimbalzare contro il muro e ribatterla.

Antica Roma: l'*harpastum* è il gioco che più si avvicina al rugby conosciuto oggi, originario dalla cultura spartana, si è diffuso soprattutto nel mondo romano. Il gioco si svolgeva su un campo rettangolare con una linea nel mezzo e due linee a fondo campo, l'obiettivo era quello di conquistare la palla e portarla oltre la linea avversaria, passandola ai propri compagni con tiri diretti o di rimbalzo e non poteva essere toccata con i piedi. Per ostacolare gli avversari era possibile intercettare la palla o placare i giocatori o afferrarli per qualsiasi parte del corpo. L'*harpastum* era raccomandato dal medico greco Galeno (II secolo d.C.) come esercizio igienico.

Medioevo: le fonti relative a quest'epoca sono molto scarse, l'unica conoscenza che si ha in questo campo è la presenza di un gioco chiamato *soule*, il cui scopo era quello di portare la palla, una vescica riempita con aria o paglia e rivestita di cuoio, oltre un limite designato e per raggiungere l'obiettivo era consentita qualsiasi azione, rendendolo perciò un gioco molto pericoloso. Successivamente in Italia altre forme di precursori del rugby sono riconducibili al calcio fiorentino.

Rugby moderno: la data ufficiale attribuibile alla nascita del rugby moderno risale al 1823, incisa sulla lapide di William Webb Ellis a cui si attribuisce l'invenzione del gioco. Nonostante il gioco presentasse delle caratteristiche peculiari, come la possibilità di correre liberamente con la palla in mano, la possibilità di placare gli avversari e l'introduzione dello *hacking* (ovvero tirare calci sugli stinchi degli avversari), all'epoca era ancora considerato una variante del football.

Il 26 gennaio 1871 venti club di rugby si riunirono a Londra e fondarono la RFU (Rugby Football Union), stabilendo un regolamento unico di gioco i cui punti principali

riguardavano l'abolizione dello *hacking*, l'impiego della palla ovale e la possibilità di correre con la palla fra le mani. Il numero dei giocatori venne fissato prima a 20 e poi a 15.¹⁸

Il rugby si è poi diffuso nel territorio britannico al pari del cricket, grazie alla sua importante adesione nelle public school. Nel 1886 la sua gestione è stata affidata alla International Rugby Board (IRB) con sede a Londra (successivamente spostata a Dublino nel 1995) le cui nazioni rappresentanti erano Inghilterra, Galles, Irlanda e Scozia.

Nel 1949 hanno fatto ingresso anche Nuova Zelanda, Australia e Sudafrica e successivamente anche Francia (1978), Argentina, Canada, Giappone e Italia (1990).

Nello specifico in Italia la diffusione di questa disciplina si deve a Pietro Mariani, giovane emigrante che aveva scoperto e praticato il rugby in Francia, a partire dal 1909. Nel 1928 venne fondata la FIR (federazione italiana rugby) la quale organizzò il 12 febbraio del 1929 il primo Campionato italiano a cui parteciparono sei squadre.

2.2. Regolamento del rugby

Il rugby è uno sport di squadra in cui le due squadre si affrontano con l'obiettivo di portare la palla oltre la linea di fondo campo della metà avversaria.

Il campo di gioco è un rettangolo la cui area è delimitata dalle linee di *meta* e dalle linee di *touch* (ovvero le linee laterali da cui viene effettuata la rimessa), non deve eccedere i 70 metri in larghezza e i 100 metri in lunghezza (da una linea di meta all'altra). Lungo le due linee di meta sono poste le porte ad H larghe 5,6 metri e con la traversa posta a 3 metri d'altezza dal terreno, l'altezza totale delle porte deve essere di almeno 3,4 metri. Nel complesso il campo di gioco presenta una linea centrale di metà campo, le due linee di *meta* a fondo campo, due linee poste a 22 metri dalle linee di *meta* e due linee tratteggiate poste a 10 metri dalla linea di metà campo. Ci sono poi altre tre coppie di linee, tutte tratteggiate, che servono per delimitare delle zone di ripresa del gioco durante la gara: due linee dei 5 metri, ognuna posta di fronte alla rispettiva linea di meta, regolano la ripresa del gioco con una mischia, per infrazioni commesse in area di meta o tra questa e la linea dei 5 m, sono anche il limite massimo per formare un allineamento di *touch* o il punto per concedere i calci di punizione o i calci liberi alla squadra in attacco. Due linee dei 5 metri, ognuna posta di fronte alla rispettiva linea di *touch*, sono il limite massimo ove far giocare una mischia rispetto alla linea di *touch* e determinano la distanza minima che devono rispettare i due schieramenti in occasione delle rimesse laterali. Due linee dei 15 m, ognuna posta di fronte

¹⁸ https://www.treccani.it/enciclopedia/rugby_%28Enciclopedia-dello-Sport%29/

alla rispettiva linea di touch, servono per delimitare la fine dell'allineamento nel gioco del *touch*, sono inoltre il limite preciso dove vengono assegnate le mischie, i calci liberi o i calci di punizione per infrazioni o falli che avvengono durante il gioco del *touch* o per alcune tipologie d'*antigioco* durante alcune particolari fasi del gioco.

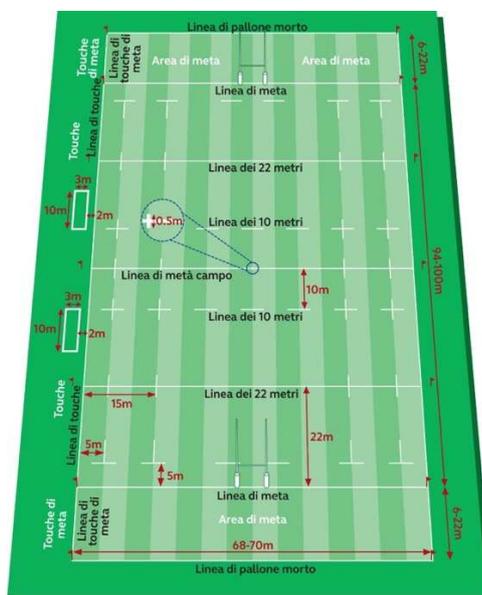


Figura 6 _Schema misure campo da rugby regolamentare¹⁹

La palla è di forma ovale di cuoio (o di un materiale sintetico simile) e di peso compreso tra i 400 e i 440 grammi.

Le due squadre sono formate complessivamente da 15 giocatori in campo più 7 uomini in panchina per i cambi, che si distinguono in *rimpiazzo*, quando un giocatore entra nell'area di gioco al posto di un compagno infortunato, e *sostituzione*, quando il giocatore entra in campo al posto di un compagno per motivi tecnici. Per quanto riguarda la formazione delle squadre, il regolamento prevede che:

- Una partita non può iniziare se una squadra presenta meno di 11 giocatori e non può continuare se una squadra rimane con meno di 6 giocatori.
- Un giocatore espulso o un giocatore rimpiazzato per infortunio non può più rientrare in gara.
- Un giocatore sanguinante deve lasciare l'area di gioco per il tempo necessario alla medicazione (per un massimo di 15 minuti), per tale tempo può essere rimpiazzato da una riserva. Trascorsi i 15 minuti il giocatore non può più rientrare per partecipare alla gara. L'arbitro può ordinare, con o senza parere del medico, ad un giocatore infortunato

¹⁹ Federazione Italiana Rugby, Regolamento di gioco in sintesi, 6ª edizione 2009-2010

di lasciare l'area di gioco. Se anche il rimpiazzo s'infortuna può essere a sua volta rimpiazzato.

- Se il rimpiazzo è espulso, il giocatore rimpiazzato non può rientrare in campo di gioco.
- Un giocatore che lascia la gara può rientrare solo con il consenso dell'arbitro.
- Un giocatore sostituito per motivi tecnici può rientrare in gara per sostituire un giocatore con ferita sanguinante o per sostituire un giocatore di prima linea infortunato od espulso (in tal caso dovrà uscire un altro compagno di squadra).
- I 3 giocatori di prima linea ed i loro eventuali rimpiazzati devono essere debitamente preparati a ricoprire tale ruolo.

All'interno di una squadra si individuano diversi ruoli, suddivisi in due grosse categorie, gli *avanti*, che formano il pacchetto di mischia e sono generalmente gli otto uomini più forti e grossi dal punto di vista fisico. Si occupano di conquistare il pallone dai lanci del gioco (mischia e rimessa laterale) e di portarlo avanti in percussione. Sono i giocatori con i numeri dall'1 all'8. I *trequarti*, invece, sono gli uomini veloci e sono coloro che prendono i numeri dal 9 al 15.

All'interno delle due categorie si distinguono a loro volta dei ruoli più specifici, in particolare tra gli *avanti* si individuano:

- *Piloni (1 e 3)*: insieme al *tallonatore* compongono la prima linea di mischia. Sono giocatori caratterizzati da una notevole forza e il loro scopo principale è quello di sostenere il *tallonatore* durante una mischia ordinata, assicurando potenza nella spinta, inoltre forniscono aiuto ai saltatori durante le azioni di *touch*. Sono i due giocatori con il numero 1 e il numero 3 (assegnati rispettivamente al pilone sinistro e al pilone destro).
- *Tallonatore (2)*: è il giocatore che si posiziona tra i due piloni durante la mischia ordinata e il cui scopo è quello di recuperare il pallone con i piedi e di portarlo all'interno del proprio pacchetto di mischia. Inoltre, è solitamente il giocatore a cui viene affidata la rimessa durante l'azione di *touch*.
- *Seconda linea (4 e 5)*: sono solitamente i giocatori più alti. Il loro ruolo principale è quello di recuperare la palla in volo durante un'azione di *touch*. Hanno inoltre il compito di compattare la mischia e di aumentarne la potenza di spinta.
- *Terza linea (6, 7 e 8)*: si suddivide in *terza linea di centro* (numero 8), il cui scopo è quello di recuperare la palla dalla mischia e di passarla ai giocatori di trequarti e le due *terze ali* (numeri 6 e 7), sono i più agili tra gli avanti in quanto il loro compito è quello

di staccarsi per primi dalla mischia quando la palla esce, oltre a tenere la mischia compatta.

Tra i *tre quarti*, invece, si individuano:

- *Mediano di mischia (9)*: è il punto di congiunzione tra gli *avanti* e i *tre quarti*. È un giocatore di statura relativamente ridotta con un'ampia visione del campo, rispondono velocemente alle situazioni di gioco e hanno delle buone capacità nel gestire la palla sia con le mani che con i piedi. Sono i primi placatori in difesa e sono coloro che inseriscono la palla nella mischia e i primi che la recuperano quando esce.
- *Mediano d'apertura (10)*: è un giocatore veloce con una buona progressione nella corsa. È colui che decide le strategie di gioco, perciò è molto veloce nelle decisioni e ha una buona gestione della palla.
- *Tre quarti ala (11 e 14)*: sono i giocatori più veloci della squadra e sono coloro che intervengono nelle fasi finali di gioco portando la palla in meta.
- *Tre quarti centro (12 e 13)*: sono i giocatori più polivalenti, devono essere in grado di rompere la linea avversaria e di fare buoni passaggi, inoltre, nell'atto difensivo, devono essere dei buoni placatori. Si distinguono in *centro esterno* (numero 13), che è il più agile e leggero dei due ed è colui che si posiziona più lontano dalla mischia e il *centro interno* (numero 12), più vicino alla mischia è il primo placatore insieme alla mischia ed è colui che sfonda le linee avversarie creando i varchi.
- *Estremo (15)*: è colui che resta in posizione arretrata e interviene come difensore quando viene superata la prima linea di difesa, inoltre raccogliere i calci avversari che non vanno in rimessa laterale e ribattere il pallone nel campo avversario o in *touch* per guadagnare terreno, per questo motivo, oltre ad avere buone doti di placcaggio, possiede delle buone capacità nei calci.

Una partita di rugby dura 80 minuti (divisi in due tempi da 40 minuti) più i tempi di recupero (per infortunio, sostituzione o rimpiazzo) che vanno recuperati nella frazione di gioco in cui avvengono. L'incontro ha inizio con il calcio d'invio in seguito al quale qualsiasi giocatore, che è in gioco, può prendere il pallone e correre con esso o lo può lanciare, calciare o passare. Secondo il regolamento esistono cinque modi per conquistare i punti, il principale è la *meta*, vale 5 punti, e si ottiene quando un giocatore riesce a schiacciare la palla (con la parte superiore del corpo) oltre la linea di meta avversaria; la *trasformazione* vale 2 punti e consiste nel calciare la palla all'interno dei pali della porta partendo dalla perpendicolare al

punto in cui è stata segnata la meta, si ha diritto al calcio di trasformazione ogni volta che viene effettuata una meta. Il *calcio di punizione* vale 3 punti e consiste in un calcio (da piazzare tra i pali sopra la traversa) effettuato dal punto in cui è avvenuta la penalità grave, il *drop* è un calcio di rimbalzo, se la palla passa tra i pali sopra la traversa vale 3 punti e, infine, la *meta tecnica* vale sempre 5 punti e consiste in una meta fatta anche senza tocco a terra della palla, viene effettuata a seguito di un fallo che interrompe un'azione che si sarebbe conclusa quasi sicuramente con una meta.

Il rugby è uno sport estremamente complesso, con numerose situazioni di gioco da gestire, e di conseguenza presenta un insieme di regole molto dettagliato. Si possono riassumere tre principali regole alla base del gioco:

- Si può correre con il pallone in mano che può essere passato però solo all'indietro. Ogni qualvolta il pallone rimbalza su una parte del corpo di un giocatore o gli scivola dalle mani e finisce avanti si ha un'interruzione del gioco per fallo definito *in avanti* che viene risolto con una *mischia* nel punto in cui è avvenuto il fallo. Nel caso in cui un *in avanti* sia volontario allora la squadra avversaria ha diritto ad un *calcio di punizione*.
- La palla può essere calciata in avanti da un giocatore durante l'azione di gioco, ma non può essere raccolta da un compagno di squadra che si trova già davanti nel momento del lancio.
- La squadra può bloccare il giocatore avversario, che porta il pallone, tramite un *placcaggio*, ovvero mettendolo a terra afferrandolo per una parte qualsiasi del corpo al di sotto del collo. In questo caso il giocatore placcato deve o lasciare la palla o passarla e colui che effettua il placcaggio deve lasciare subito il giocatore avversario. Un giocatore, non partecipante al placcaggio, può giocare/recuperare il pallone, che ancora si trova "nell'area del placcaggio", intervenendo, dalla sua parte del campo di gioco, dietro al pallone o dietro al giocatore a terra più vicino alla sua linea di meta²⁰. Si possono verificare anche delle situazioni di contatto tra due giocatori avversari, che però restano entrambi in piedi. Quando due giocatori avversari si trovano a contatto tra loro sopra la palla si parla di *ruck*, a questa azione si possono aggiungere anche gli altri giocatori ma attaccandosi sempre dietro all'ultimo uomo della propria squadra (definita come linea di *fuori-gioco*); il *ruck* termina quando il pallone esce o diventa ingiocabile, in quest'ultimo caso verrà ordinata una mischia. Quando, invece, un giocatore potatore

²⁰ Federazione Italiana Rugby, Regolamento di gioco in sintesi, 6ª edizione 2009-2010

della palla viene bloccato da un giocatore avversario restando in piedi e il primo viene “legato” e sostenuto da uno o più compagni si parla di *maul*. Il *maul* termina quando il giocatore con la palla riesce ad uscire o passa il pallone fuori o quando cade a terra e mette a disposizione la palla.

Per quanto riguarda le sanzioni le principali che si possono trovare nel rugby sono:

- Il *fallo professionale*: ovvero un evento falloso che preclude alla squadra avversaria di proseguire il gioco e che viene sanzionato con un calcio di punizione e l’assegnazione del cartellino giallo al giocatore che ha commesso il fallo.
- Il *fuori gioco*: quando un giocatore si posiziona davanti alla linea dei piedi dell’ultimo compagno che partecipa ad un *maul* o un *ruck*. In questo caso la sanzione, con calcio di punizione, avviene solo se il giocatore da quella posizione limita l’avversario o interviene nel gioco.
- Il *placcaggio pericoloso*: è un intervento falloso effettuato in occasione di un placcaggio, viene punito con un calcio di punizione e, a discrezione dell’arbitro, con l’espulsione temporanea o definitiva per il giocatore che lo ha commesso. Un esempio di placcaggio pericoloso è la *cravatta*, ovvero il placcaggio al collo.
- Il *fallo di tenuto*: si ha quando il giocatore in possesso della palla, nel momento del placcaggio, non libera il pallone per metterlo a disposizione. la penalità viene convertita in un piazzato o di rimbalzo.
- *Antigioco*: qualsiasi azione che va contro lo spirito delle regole del gioco del rugby, come il gioco sleale, l’ostruzionismo, il gioco pericoloso e le scorrettezze. Chiunque infranga la regola dell’*antigioco* viene ammonito ed espulso temporaneamente o definitivamente dall’arbitro.

2.3. Modello prestativo

Il rugby è uno sport di contatto che richiede una complessa interazione tra capacità tecniche, tattiche, fisiche e cognitive dei singoli giocatori. Dal punto di vista fisiologico, una partita è caratterizzata da una natura intermittente, poiché all’interno dello stesso match si possono individuare momenti di attività ad alta intensità (come gli scatti) e momenti di attività ad intensità più blanda (come nei momenti di riposizionamento). Nel complesso durante gli 80 minuti vengono coperti in media dai 4000 agli 8000 metri, a seconda del ruolo del giocatore, di cui fino a 1000 metri sono corsi ad alta intensità, con scatti ad alta velocità per breve durata (10 metri). Gli atleti, perciò, devono essere caratterizzati da una buona velocità

lineare, dalla rapidità di riflessi nei cambi di direzione, inoltre devono possedere delle buone capacità di resistenza aerobica accanto alla potenza e alla forza muscolare (più o meno presenti a seconda del ruolo coperto).

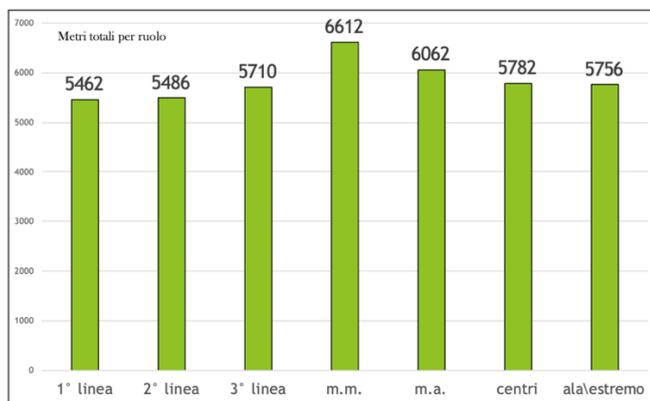


Figura 7 _Distanza totale percorsa durante un match nel campionato italiano d'eccellenza²¹

Risultano, a tal punto, molto importanti le caratteristiche antropometriche degli atleti. Secondo uno studio²² svolto nel Regno Unito su un gruppo di atleti d'élite tra i 13 e i 20 anni, si è visto come altezza e massa degli atleti aumentano con l'aumentare dell'età e sono maggiori negli *avanti* rispetto ai giocatori che ricoprono i ruoli di *trequarti*; inoltre si è visto come, considerando gli atleti tra i 13 e i 15 anni, il 33% e il 30% sono rispettivamente più alti e più pesanti rispetto al 50° percentile di crescita dei loro coetanei del Regno Unito, nello specifico, dai dati riportati, negli atleti under 15 l'altezza media è di 178.0 ± 5.9 cm e il peso di 77.5 ± 10.0 kg, mentre negli atleti senior l'altezza media risulta di 183.2 ± 5.8 cm e il peso di 96.5 ± 9.3 kg. L'incremento delle dimensioni risulta più vantaggioso per la scelta dell'atleta d'élite, molto probabilmente per la loro capacità di sviluppare forze d'impatto più elevate durante le azioni di contatto, caratteristiche di questo sport.

Un altro elemento significativo per la caratterizzazione di un buon atleta di rugby è la composizione corporea, in particolare incidono molto un'alta mineralizzazione ossea e una buona percentuale di massa magra (un maggiore contenuto di massa magra rispetto a quella grassa, tra e categorie giovanili, determina una possibilità più elevata di raggiungere livelli d'élite nelle categorie professionistiche). Differenziando gli atleti a seconda delle posizioni che ricoprono, lo stesso studio citato in precedenza ha evidenziato come gli *in avanti*

²¹ Riccardo Di Maio, Modello di prestazione del rugby nel campionato di eccellenza. Sviluppo e comprensione dei dati GPS, fiamme oro rugby, 2014

²² K. Till et al. Anthropometric and Physical Qualities of Elite Male Youth Rugby League Players, Review article, 2017, Sports Med

possiedono una maggiore massa grassa rispetto ai *trequarti*, coerentemente con l'impegno durante la competizione, in quanto ai primi è richiesto di ricoprire una minore distanza dedicandosi prevalentemente alle azioni di collisione, mentre ai secondi sono richiesti minori interventi di contatto ma maggiori scatti.

Anche la velocità lineare è un altro elemento da prendere in considerazione tra le caratteristiche di un giocatore di rugby. Anche in questo caso, come per gli aspetti precedenti, la velocità si differenzia a seconda dell'età presa in considerazione (con un importante incremento tra i 13 e i 15 anni, poi la curva di crescita si appiattisce) e il ruolo ricoperto, in particolare i *trequarti* sono più veloci degli *in avanti*, i *medianti* sono più rapidi nelle brevi distanze (10 metri), le *ali* sono veloci sulle lunghe distanze e i *piloni* sono i giocatori più lenti di tutta la squadra.

Un'elevata velocità è una qualità fisica importante per gli standard di gioco richiesti nella carriera sportiva e per il raggiungimento di migliori risultati.

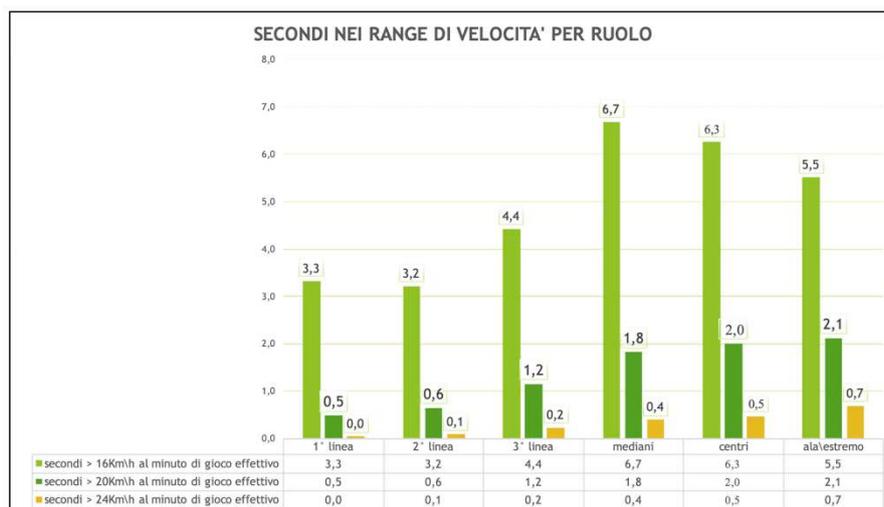


Figura 8 _Secondi totali dei range di velocità a seconda del ruolo in giocatori del campionato italiano d'eccellenza

Come introdotto in precedenza, all'interno di un match si alternano situazioni ad alta intensità di breve durata e momenti ad intensità più blanda, gli atleti perciò devono possedere anche buone capacità aerobiche, per poter mantenere più a lungo le azioni ad intensità moderata e per poter recuperare rapidamente a seguito degli sforzi ad alta intensità. Una buona capacità aerobica contribuisce ad un miglioramento della prestazione in quanto il giocatore dimostra di poter coprire una maggiore distanza in campo, a pari velocità, durante la partita. A livello di ruoli, i *trequarti* sembrano avere una migliore capacità aerobica rispetto agli *avanti*, il che potrebbe essere coerente con le richieste fisiologiche durante la partita, anche se gli studi a riguardo non sono sufficientemente significativi per poter

dimostrare queste differenze; è certo, però, che un ruolo molto importante a riguardo lo copre la tipologia di allenamento proposto agli atleti.

Accanto alla capacità aerobica, un altro elemento importante da tenere in considerazione, per una buona resistenza e il raggiungimento di migliori risultati in gara, è la forza muscolare. Qualità indispensabile in uno sport come il rugby, che vede molte situazioni di contatto e confronto fisico con gli avversari. La forza muscolare, come era intuibile, aumenta con l'aumentare dell'età nelle categorie giovanili ed è distribuita diversamente a seconda del ruolo: gli *in avanti* presentano una forza assoluta maggiore, in quanto gli sono richiesti molti più momenti di contatto, rispetto ai *trequarti*. Scendendo ancora più nel dettaglio, i *trequarti* presentano una potenza muscolare degli arti inferiori migliore rispetto agli *in avanti*, in quanto a loro sono richieste maggiori azioni di scatti e salti, mentre gli *in avanti* presentano una maggiore potenza nella muscolatura del tronco e degli arti superiori.



Figura 9_Impatti totali divisi per ruolo in un match del campionato italiano d'eccellenza (escluse le mischie)

In conclusione, il giocatore di rugby deve essere polivalente dal punto di vista fisico e fisiologico, proprio per la quantità di azioni di diversa natura a cui è sottoposto durante un match (con una distinzione a seconda del ruolo). In linea generale le dinamiche di gioco si possono distinguere in diversi movimenti:

- *Standing still (star fermi)*: all'interno di questa categoria vengono inclusi anche piccoli movimenti involontari come gli sbilanciamenti in avanti e in indietro o le torsioni.
- *Walking (camminare)*
- *Jogging*: ovvero tutti quei momenti di transizione a corsa blanda per riprendere la posizione in campo.
- *Cruising*: è una corsa più ampia che però non raggiunge velocità troppo elevate, tipica, ad esempio, dei momenti di rincorsa avanti e indietro per recuperare il pallone.

- *Sprinting*: è lo scatto a massima velocità, svolto ad esempio nell'azione di portare il pallone in meta.
- *Jumping (salto)*: sono i momenti di salto in elevazione svolti per ricevere o intercettare il pallone.
- *Scrummaging*: indica l'azione di mischia

Ci sono poi altre azioni di riposizionamento laterale e all'indietro, che però possono essere raggruppate tutte all'interno della categoria *jogging*, per lo stesso impegno metabolico e fisiologico.

VALORI MEDI RELATIVI AD UNA PARTITA DEL CAMPIONATO DI ECCELLENZA																	
	SECONDI GIOCATI	SECONDI DI RECUPERO	m percorsi TEMPO TOTALE	m percorsi TEMPO EFFETTIVO	secondi sopra i 20W	acc.int. >50%	acc. Int >75%	C.d.D. > 20W	C.d.D. > 30°	azioni intense >20W	azioni intense >35W	sec >16km/h	sec >20km/h	sec >24km/h	impatti escluso mischie e drive	secondi drive	secondi mischie
1° LINEA	1815 30 min	3317 55 min	5462	2874	269	121	24	59,0	933	120	12	97	14	1	32	47	100
2° LINEA			5486	2844	264	124	26	62,0	1004	112	14	98	20	3	29	57	100
3° LINEA			5710	3055	306	146	33	87,0	1100	124	20	134	35	7	35	53	100
M.M			6612	3993	438	142	36	100,0	1050	148	22	196	54	10	10	0	0
M.A			6062	3509	378	146	34	90,0	1070	134	26	190	54	14	16	0	0
CENTRO			5782	3207	356	130	32	85,0	952	122	28	187	60	14	23	0	0
ALA\ESTREMO			5756	3086	314	129	32	69,0	984	108	26	168	65	21	17	0	0

Figura 10_Tabella riassuntiva dei valori medi relativi ad un match del campionato italiano d'ecceellenza divisi per ruolo

2.4. Metodi di allenamento

Come afferma Teodorescu *l'allenamento è un processo specializzato, su basi scientifiche, finalizzato allo sviluppo e formazione del giocatore, considerato sia individualmente sia integrato nella squadra, nella prospettiva di sviluppare la massima capacità di prestazione. Il giocatore deve allenare, ad intensità diverse, azioni concatenate, adatte alle varie fasi di gioco, in condizioni di scontro con l'avversario ed in regime di sollecitazione delle qualità motorie e della tensione psichica.*

L'allenamento finalizzato alla prestazione è un processo pedagogico-educativo complesso che implica una scelta attenta degli esercizi più adeguati alle prospettive di specializzazione del soggetto. Più nel concreto si tratta di applicare diverse forme, combinazioni e gradi di difficoltà in modo tale da promuovere lo sviluppo delle abilità tecnico-tattiche e di variare quantità ed intensità in modo da favorire l'impiego efficace delle abilità nel momento della competizione, anche in condizioni di affaticamento.

La preparazione per il rugby, in quanto gioco di squadra, deve prevedere un'interazione sinergica tra allenamento di squadra e allenamento individuale specifico per il singolo giocatore, tenendo in considerazione gli obiettivi metodologici, che prevedono una progressione nelle proposte con un sistema di allenamento ciclico sul breve, medio e lungo periodo, avendo sempre come obiettivo finale la competizione. Il conseguimento positivo della prestazione sportiva è possibile nel momento in cui viene garantito un rapporto ottimale tra il carico (sollecitazioni) e il recupero che devono susseguirsi in sintonia tra loro.

Essendo uno sport di situazione, il rugby, è caratterizzato da un ampio insieme di azioni, per questo l'allenamento deve essere multilaterale, ponendo l'attenzione sull'assimilazione di un ampio spettro di conoscenze, di abilità e di capacità motorie, l'apprendimento della tecnica di vari esercizi sportivi, con la conseguente acquisizione dell'arte di gareggiare, e l'aumento della capacità di lavoro muscolare.

L'allenamento multilaterale è una metodologia applicabile durante tutta la carriera dell'atleta, sia nella fase giovanile che in età adulta, con delle distinzioni: nella fase giovanile l'efficacia sarà alimentata da un allenamento di tipo fondamentale, costituito da un ampio ventaglio di esercizi mirati a diversi obiettivi fondamentali, nell'età adulta, invece, l'efficacia sarà valorizzata da un allenamento di tipo speciale, formato da un ampio spettro di esercizi specifici rispetto all'obiettivo. Secondo quanto definisce Frohner, un allenamento multilaterale precoce agevola la maturazione nervosa, agevola lo sviluppo della muscolatura e predispone ad una maggiore capacità di carico, indispensabile per la costruzione a lungo termine della prestazione di alto livello. Risulta necessario, ai fini dell'allenamento giovanile, adottare carichi e metodologie di lavoro che non vadano a danneggiare, ma anzi sviluppare, sia la capacità di carico meccanica (riferita all'apparato osto-tendineo e muscolare) sia la capacità organica generale. Da questa premessa ciò su cui si deve focalizzare la preparazione del rugby, soprattutto per le categorie giovanili, è il miglioramento della capacità di carico meccanica, attraverso l'inserimento di esercizi per la colonna vertebrale, esercizi per lo sviluppo dei muscoli posturali, esercizi di stretching ed esercizi di scarico e compensazione, all'interno della programmazione.

Gli obiettivi su cui si focalizza l'allenamento variano a seconda della fascia d'età con cui si lavora, in quanto le caratteristiche e le richieste fisiologiche sono differenti.

Nel caso dell'Under16 l'allenamento si basa sul concetto di costruzione, in questa fascia d'età si vede una crescita muscolare con armonia corporea, la stabilizzazione del sistema

scheletrico, l'incremento della allenabilità della forza e lo sviluppo della capacità anaerobica. Di conseguenza gli allenamenti sono incentrati su esercizi per la propriocezione, esercizi per la velocità massima e per il ritmo ed esercizi di forza, in particolare esercizi di rinforzo per la cintura addominale-dorsale, esercizi di forza esplosivo-elastica (come lanci e balzi) e l'introduzione di esercizi con sovraccarichi (squat avanti, stacchi, slanci, girate e strappi).

Successivamente, a partire dall'Under18, le caratteristiche degli atleti cambiano, si ha un aumento ponderale e una migliore capacità aerobica. Da questo momento l'allenamento si focalizza sulla specializzazione, con esercizi di propriocezione in situazioni di disequilibrio, esercizi di velocità specifica ed esercizi di forza, che prevedono sempre il rinforzo della cintura addominale-dorsale e il lavoro con sovraccarichi viene potenziato.

Dall'Under18 in poi si inizia a creare l'atleta di rugby a tuttotondo, con la prima squadra gli allenamenti vengono differenziati a seconda del ruolo coperto dall'atleta in campo e ci si focalizza al meglio sulle tattiche di gioco. Affianco agli allenamenti più tecnici e specifici al fine della competizione, la programmazione prevede sempre l'inserimento di allenamenti di preparazione atletica con l'obiettivo di allenare la velocità, la resistenza, la potenza specifiche e, con un'attenzione particolare, la forza, che prevede sempre un programma di esercizi per il rinforzo della cintura addominale-dorsale, un aumento del sovraccarico, rispetto alle precedenti categorie e l'inserimento di esercizi di rotazione e in situazioni di disequilibrio per migliorare la propriocezione e la risposta neuromotoria al fine di prevenire gli infortuni in campo.

2.5. Prevenzione degli infortuni

Secondo uno studio del 2014²³, il rugby è uno degli sport più praticati al mondo, andando ad occupare la terza posizione nella classifica mondiale degli sport di contatto. I dati raccolti nello studio evidenziavano come nel 2014 il numero di nazioni con una propria federazione di rugby ammontava a 100.

Il rugby, però, in quanto sport di contatto, comporta frequenti e violenti impatti che vengono subiti dal fisico e questo espone i giocatori ad un elevato numero di infortuni (soltanto il football americano e l'hockey sul ghiaccio hanno registrato un'incidenza maggiore di infortuni rispetto al rugby). Secondo il World Rugby (che fino al 19 novembre 2014 era conosciuto come International Rugby Board) per infortunio si intende "*qualsiasi disturbo*

²³ Andreas Freitag et al. Systematic review of rugby injuries in children and adolescents under 21 years, 2014

fisico, che è stato causato da un trasferimento di energia che supera la capacità del corpo di mantenere la sua integrità strutturale e/o funzionale, subito da un giocatore durante un match o un allenamento, indipendentemente dalla necessità di cure mediche o dalla perdita di tempo dalle attività di rugby". Secondo l'International Classification of Diseases gli infortuni vengono classificati per gravità a seconda del tempo richiesto per il recupero prima di poter tornare a giocare o ad allenarsi: entro i 28 giorni l'infortunio viene definito lieve, tra i 29 e gli 84 giorni viene definito moderato e, quando il periodo di stop supera gli 84 giorni, l'infortunio si definisce grave. I dati emersi da uno studio del 1995²⁴, che ha valutato le squadre senior di rugby della federazione scozzese, hanno evidenziato come, su 361 giocatori infortunati, il 74% hanno subito un solo infortunio all'interno della stagione, il 17% di loro hanno subito due infortuni e il 9% dai tre infortuni in su, di questi infortuni l'84% sono avvenuti durante una partita e solo il 16% durante l'allenamento. Inoltre, il 22% degli episodi di infortunio registrati erano transitori, il 38% lievi, il 24% moderati e il 16% gravi. Oltre al livello di gravità, gli infortuni legati al rugby dipendono da diversi fattori:

- Età: gli atleti senior sono più soggetti ad infortunio rispetto a quelli delle categorie giovanili, di questi il 98% degli atleti infortunati appartengono alla categoria dell'U18, mentre le categorie dagli U9 agli U12 coprono il 2%. Nello specifico, gli atleti senior sono più soggetti a stiramenti dei muscoli degli arti inferiori, distorsioni della caviglia, traumi contusivi al ginocchio e ferite sanguinanti, mentre gli atleti più giovani sono maggiormente soggetti a lesioni muscolari e legamentose dell'area cervicale.
- Ruolo: non ci sono differenze significative tra le diverse posizioni ad eccezione degli infortuni che interessano il tronco che sono tre volte più frequenti negli avanti rispetto ai trequarti.
- Fase di gioco: l'azione più fortemente associata ad infortunio è il placcaggio, con il 49% degli episodi di infortunio durante un match, seguita da il *ruck* (15%), la rimessa laterale (12%), la mischia ordinata (8%) e il *maul* (2%).
- Periodo: all'interno dell'intera stagione sportiva, gli infortuni sono più frequenti all'inizio della stagione (settembre-ottobre), mentre all'interno di un singolo match sono più frequenti durante il secondo tempo (54%) rispetto al primo (46%).
- Tipologia di lesione: oltre agli infortuni legati alla corsa, durante i periodi di transizione, secondo una review, che ha preso in considerazione 35 studi, le lesioni ai legamenti, le

²⁴ M. Garraway et al. Epidemiology of rugby football injuries, The Lancet, 10 giugno 1995

distorsioni e gli strappi muscolari vanno dal 15.7 % al 47.2% di tutti gli infortuni riportati, lacerazioni, contusioni ed ematomi vanno dal 2.7% al 46%, le fratture vanno dal 3% al 27%, le commozioni cerebrali dal 2.2% al 24.6% e le sublussazioni dallo 0.5% al 10.8%.

- Area anatomica: gli infortuni maggiormente presenti sono quelli agli arti inferiori che coprono dal 3.4% al 46.8% del totale, caratterizzati in particolare da lussazioni, stiramenti e distorsioni del ginocchio. Altri siti anatomici di particolare interesse per gli infortuni sono gli arti superiori (dal 19.3% al 38.4%), prevalentemente con la spalla, la testa e il collo (dal 4.6% al 41.2%) e il tronco (dal 6.5% al 12.5%).

Da questa premessa, perciò, emerge l'importanza di attivare un protocollo di prevenzione degli infortuni fin dalle categorie più giovani. In primis risulta fondamentale istruire l'atleta sulla tecnica d'esecuzione corretta dei fondamentali di gioco e su come ci si rapporta con il campo da gioco. Oltre alle sedute di allenamento in campo, svolgono un ruolo fondamentale, al fine della prevenzione, anche le sedute in palestra e la preparazione atletica. La corsa è parte integrante di questo sport, caratterizzata prevalentemente da scatti ripetuti su differenti distanze a seconda della situazione di gioco e del ruolo coperto dal giocatore, per questo motivo è fondamentale migliorare la tecnica e la postura di corsa al fine di evitare gli infortuni legati ad essa (Running Related Injuries), come già esposto nel precedente capitolo. In relazione ai dati raccolti sugli infortuni propriamente legati al rugby appare cruciale un intervento preventivo attraverso il potenziamento della forza muscolare, della mobilità articolare e della propriocettività; all'interno di una seduta di palestra, perciò, vanno proposti inizialmente degli esercizi che vadano a migliorare il range di mobilità articolare e poi degli esercizi di rinforzo muscolare per gli arti (prevalentemente quelli inferiori che sono più soggetti ad infortunio, ma senza tralasciare quelli superiori), per tutta la muscolatura del tronco e per il collo, questi ultimi sono di fondamentale importanza in uno sport di contatto come il rugby. Successivamente va proposto un allenamento di tipo propriocettivo, ovvero un insieme di esercizi che vanno a creare situazioni di instabilità, allo scopo di valutare e migliorare l'utilizzo dei segnali propriocettivi provenienti dalla periferia. Al fine della prevenzione permette di avere un più rapido controllo della muscolatura durante le azioni di gioco e favorisce la sollecitazione di gruppi muscolari interi evitando le contrazioni isolate, inoltre, permette di avere un buon senso dell'equilibrio ed un controllo assoluto del gesto tecnico. Gli esercizi propriocettivi si basano su una serie sollecitazioni controllate ed

applicate alle articolazioni, con esercizi sia in scarico che con carico naturale, ad occhi aperti o anche ad occhi chiusi (per allenare anche gli altri canali diversi dalla vista), utilizzando piani oscillanti di varia difficoltà, come tavolette, bouncer, skymmi, bosu e trampolini. Tutte le esercitazioni propriocettive vanno proposte evitando di indossare le scarpe, in modo da non distogliere le sensazioni propriocettive.



Figura 11 _Esempi di esercizi propriocettivi

3. MATERIALI E METODI

3.1. Introduzione

Il lavoro di tesi è stato suddiviso in due momenti: la prima parte del lavoro, ovvero quella relativa all'acquisizione dati si è svolta nel mese di giugno presso i campi da rugby del CUS di Padova; la seconda parte, invece, riguardante la lettura e l'analisi dei dati raccolti, a causa delle restrizioni per il Covid-19, si è svolta in parte nel laboratorio di Bioingegneria del Movimento (BiomovLab) presso il dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova e in parte lavorando da remoto da casa, attraverso l'utilizzo dei computer del laboratorio.

Lo studio ha avuto come obiettivo la valutazione del rischio di infortunio nella corsa dei giocatori di rugby, e conseguente protocollo di esercizi ai fini della prevenzione, partendo dall'analisi del movimento del centro di massa (COM) identificato tramite l'applicazione di un marker sulla 5^a vertebra lombare L5, in diversi giocatori di sesso maschile appartenenti a diverse fasce d'età. Il protocollo di acquisizione è stato svolto sul campo da gioco attraverso l'utilizzo di otto telecamere che riprendevano i giocatori durante due prove di sprint, di queste sono state prese in considerazione solamente le due telecamere poste alla partenza che riprendevano i giocatori di schiena. I giocatori erano stati muniti di marker e di solette, per la valutazione delle pressioni plantari, che però non sono state prese in considerazione ai fini di questo studio.

Di seguito vengono descritti più nel dettaglio i soggetti presi in considerazione, il protocollo di acquisizione e la valutazione in laboratorio.

3.2. Soggetti

Ai fini dello studio sono stati presi in considerazione complessivamente 37 soggetti delle squadre di rugby del CUS di Padova, di questi sono stati considerati giocatori di diverse età, in modo da poter fare un confronto dei dati tra le diverse categorie. In particolare sono stati considerati:

- 8 giocatori dell'U16
- 10 giocatori dell'U18
- 19 giocatori della prima squadra

L'acquisizione è stata svolta nel mese di giugno, quindi al termine della stagione agonistica 2020/2021 su atleti allenati e che hanno partecipato attivamente alla stagione, tenendo però presente il numero ridotto di competizioni a cui hanno potuto prendere parte a causa delle

restrizioni per il Covid-19. Di questi soggetti sono stati tenuti in considerazione, prima della prova, eventuali problematiche muscolari o articolari.

Di seguito vengono riportate le medie dei dati degli atleti (i dati completi vengono riportati poi in appendice):

Prima squadra					
	ETÀ	ALTEZZA (m)	PESO (kg)	BMI	N° SCARPE
MEDIA	24,42	1,81	85,58	26,07	43,84

Tabella 3_ Dati anagrafici e antropometrici atleti Prima squadra (forniti dagli atleti)

U18					
	ETÀ	ALTEZZA (m)	PESO (kg)	BMI	N° SCARPE
MEDIA	17,60	1,80	77,70	24,07	43,80

Tabella 4_ Dati anagrafici e antropometrici atleti Under 18 (forniti dagli atleti)

U16					
	ETÀ	ALTEZZA (m)	PESO (kg)	BMI	N° SCARPE
MEDIA	15,63	1,76	72,38	23,30	43,75

Tabella 5_ Dati anagrafici e antropometrici atleti Under 16 (forniti dagli atleti)

3.3. Protocollo

Il protocollo di acquisizione utilizzato per questo studio prevedeva lo svolgimento di due prove distinte di sprint per ogni soggetto; nel caso dei giocatori della prima squadra, ogni soggetto doveva eseguire uno scatto massimale sui 30m seguito da una fase di recupero di 30m ed uno sprint finale di 60m, mentre, i giocatori dell'U16 e dell'U18 hanno eseguito uno scatto massimale sui 10m seguito da una fase di recupero di 20m ed uno sprint finale di 30m. Come già precedentemente esposto, l'obiettivo dello studio è stato quello di valutare il rischio di infortuni legati alla corsa a partire dall'analisi della traiettoria e dell'accelerazione del centro di massa. Ai soggetti è stato chiesto di indossare degli indumenti comodi, colorati e più possibilmente attillati (in modo tale da far risaltare i marker) e gli sono stati applicati cinque marker (cerchi di tape bianco con il centro nero) nei principali punti di reperi degli arti inferiori: due marker sono stati applicati nelle SIAS (spine iliache anteriori superiori destra e sinistra), uno su L5 (in corrispondenza del processo spinoso della IV vertebra lombare) e due sui calcagni destro e sinistro. Agli atleti, inoltre, a turno prima della loro prova, sono state fatte indossare delle solette di pressione con trasmettitori bluetooth, che trasmettevano in diretta i dati baropodometrici ad un computer; i dati registrati dalle solette, però, non sono stati presi in considerazione ai fini di questa tesi.

I dati sono stati acquisiti in due giornate differenti, in una prima giornata si sono svolte le prove degli atleti della prima squadra, mentre in una seconda giornata sono stati acquisiti i

dati dell'U16, prima, e poi dell'U18. L'ordine con cui gli atleti hanno svolto le prove è stato casuale. Il protocollo prevedeva una parte iniziale di riscaldamento svolto in autonomia, successivamente, per la prima squadra, ogni soggetto doveva effettuare uno scatto sui 30m, con partenza da fermo, per poi transitare, in camminata o in corsa blanda, fino al conetto posto ai 60m, quel punto il soggetto doveva eseguire un altro scatto sui 60m, nella direzione opposta a quella dei 30m. Per quanto riguarda l'U16 e l'U18, invece, ogni soggetto doveva effettuare uno scatto fino al conetto posto ai 10m e poi continuare in defaticamento fino al conetto posto a 30m, a quel punto doveva eseguire uno scatto sui 30m nella direzione opposta alla prova precedente.

Durante tutta la prova i soggetti sono stati ripresi da otto telecamere, quattro rivolte verso una direzione e quattro rivolte nel senso opposto.



Figura 12_Tracking L5

3.4. Strumentazione

Come già esposto in precedenza, a tutti gli atleti sono state fatte indossare delle solette di pressione per la rilevazione delle variabili del passo, come forza esercitata, area d'appoggio e tempi d'appoggio; di queste si disponeva di due paia di dimensioni diverse, per poter calzare meglio su diverse taglie di scarpa. Le rilevazioni ottenute, però, non sono state prese in considerazione ai fini di questo studio.

I dati tenuti in considerazione per la tesi, invece, sono stati quelli acquisiti attraverso l'analisi video. Le riprese video sono state possibili grazie all'utilizzo di otto videocamere portatili ad alta risoluzione, di uso commerciale (GoPro), posizionate, prima dell'inizio delle prove, su dei treppiedi, in modo da poter avere una visuale completa dell'intera area presa in considerazione per i test.

3.5. Elaborazione dei dati

La seconda parte del lavoro, ovvero quella di lettura ed elaborazione dei dati è stata svolta in parte in laboratorio e in parte in remoto da casa, utilizzando sempre i software del

laboratorio. Per facilitarne l'identificazione, ad ogni soggetto è stato attribuito un acronimo di quattro lettere, identificativo di nome e cognome.

Come prima operazione, sono stati presi in esame tutti i video delle varie telecamere (cam1, cam2, cam3, cam4, cam5, cam6, cam7, cam8), sono stati presi i tempi (in secondi) dei singoli soggetti e ad ognuno di loro sono stati assegnati i video relativi alle loro prove: nel caso degli atleti della prima squadra sono stati assegnati i video della cam5 e della cam6 per la ripresa dello sprint sui 30m e della cam7 e della cam8 per la ripresa dello sprint sui 60m, nel caso degli atleti dell'U16 e dell'U18, invece, sono stati assegnati ad ogni soggetto i video della cam5 e della cam6 per la ripresa dello sprint sui 10m e della cam7 e della cam8 per la ripresa dello sprint sui 30m.

Successivamente si è passati alla sincronizzazione dei video e al tracking di L5 utilizzando il programma Track On Field, sviluppato da BBSof, start-up dell'Università di Padova.

Per ogni soggetto sono stati inseriti l'acronimo e i dati antropometrici e sono stati inseriti i video delle due cam relativi alla prova presa in esame.

A questo punto sono stati sincronizzati i due video e, su un foglio excel, sono stati riportati i frame corrispondenti all'inizio della prova e quelli corrispondenti alla fine della prova. Per poter procedere con il tracking, sotto la voce "sequences" di Track On Field, è stato inserito l'intervallo di tempo (in frame) relativo alla prova del soggetto e, per entrambi i video, è stato associato, per ogni singolo frame, un target in corrispondenza del marker posizionato su L5, al quale è stato approssimato il centro di massa (COM).

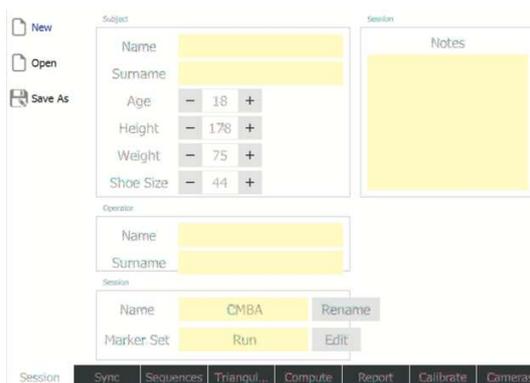


Figura 13_Dati antropometrici atleta



Figura 14_Sincronizzazione video telecamere

Una volta completato il tracking è stato possibile procedere con la calibrazione e successivamente con la triangolazione di L5.

I parametri della calibrazione intrinseca sono stati calcolati con l'uso di una scacchiera, per quanto riguarda la calibrazione estrinseca, invece, per ogni soggetto sono stati presi di

riferimento i conetti posti a terra, lungo il perimetro dell'area di campo relativa alla prova, nelle impostazioni sono state inserite le distanze tra i quattro conetti presi come riferimento e poi è stato impostato un piano cartesiano (x, y, z), prendendo come vertice il conetto in basso a sinistra; questa operazione è stata fatta per entrambi i video delle due telecamere ed è stata ripetuta per ogni singolo soggetto.



Figura 15_Esempio di calibrazione su Track On Field

Come ultimo passaggio, utilizzando il programma Track On Field, è stata fatta la triangolazione del punto tracciato, per ogni singolo soggetto, utilizzando il file .mat ottenuto dalla calibrazione.



Figura 16_Triangolazione

Dalla triangolazione sono stati ottenuti un file in formato C3D, dal quale è stato possibile osservare lo spostamento del COM tridimensionalmente lungo tutta la durata della prova, utilizzando il software points3D.c3d - Mokka, e un file in formato .mat, il quale è stato utilizzato per calcolare l'accelerazione del COM attraverso il software MatLab.

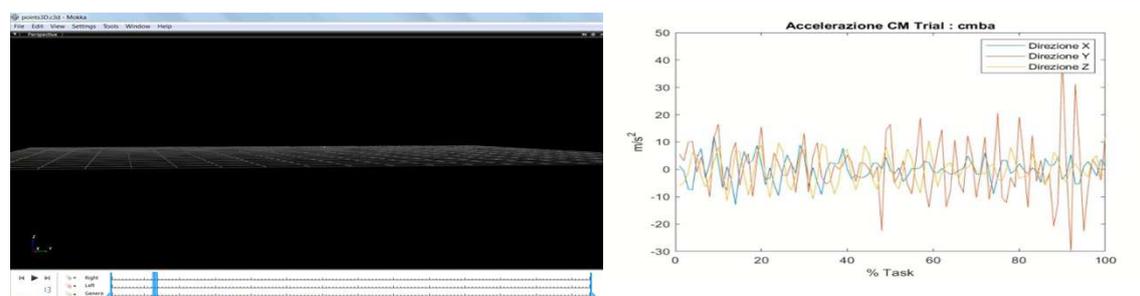


Figura 17_Traiettoria 3D CoM e grafico accelerazioni CoM nelle tre direzioni

4. RISULTATI

Una volta raccolti tutti i dati dei singoli soggetti è stata fatta una media delle accelerazioni, delle velocità e della posizione del CoM lungo i tre assi cartesiani per le tre differenti categorie e successivamente questi valori medi ottenuti sono confrontati tra loro. Sono stati ottenuti perciò dei grafici di confronto tra Prima squadra e U16, tra Prima squadra e U18 e tra U16 e U18 per i diversi parametri:

- Posizioni del CoM lungo l'asse x (ovvero gli spostamenti laterali)
- Posizioni del CoM lungo l'asse y (ovvero lo spostamento lungo la direzione di corsa)
- Posizioni del CoM lungo l'asse z (ovvero gli spostamenti sull'asse verticale)
- Velocità CoM lungo l'asse x
- Velocità CoM lungo l'asse y
- Velocità CoM lungo l'asse z
- Accelerazioni CoM lungo l'asse x
- Accelerazioni CoM lungo l'asse y
- Accelerazioni CoM lungo l'asse z

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dal confronto delle tre categorie per quanto riguarda le velocità e le accelerazioni del CoM:

Prima squadra Vs U16

- Asse X: la media delle velocità lungo l'asse x per la Prima squadra ha un andamento decrescente, al contrario dell'U16 che segue un andamento crescente. Per quanto riguarda l'accelerazione i picchi delle accelerazioni laterali risultano molto più elevati nel gruppo dell'U16.
- Asse Y: la velocità media d'avanzamento è, per l'intera durata della prova, maggiore nel gruppo dell'U16 rispetto alla prima squadra. Invece, l'andamento sinusoidale dell'accelerazione, fino alla prima metà della prova, è molto simile sia per l'U16 che per la Prima squadra; dalla seconda metà in poi, invece, i picchi dell'U16 diventano maggiori rispetto alla Prima squadra.
- Asse Z: i picchi di velocità di oscillazione verticale sono maggiori nell'U16 rispetto alla Prima squadra per tutta la durata della prova, così come per l'accelerazione; infatti, il grafico delle accelerazioni verticali dell'U16 presenta dei picchi più elevati di quello della Prima squadra.

Prima squadra Vs U18

- Asse X: per quanto riguarda la velocità di oscillazione laterale del CoM, i picchi risultano maggiori nel gruppo dell'U18 rispetto alla Prima squadra. Anche il grafico delle accelerazioni ha evidenziato dei picchi più elevati per il gruppo dell'U18.
- Asse Y: per tutta la durata della prova, le velocità di avanzamento sono state maggiori nell'U18. Per quanto riguarda il grafico delle accelerazioni, come nel caso dei dati raccolti dal confronto tra Prima squadra e U16, l'andamento è molto simile per entrambi i gruppi di studio, fino alla prima metà della prova, successivamente, nella seconda metà, si evidenziano picchi molto più elevati per l'U18.
- Asse Z: per quanto riguarda i grafici delle velocità di oscillazione verticale, i valori medi sono stati maggiori nell'U18 rispetto alla prima squadra, così come per l'accelerazione, in cui si sono registrati i picchi più alti nel gruppo dell'U18.

U16 Vs U18

Tra l'U16 e l'U18 il confronto è stato fatto non solo per la prova sui 30m (come con la Prima squadra), ma anche per la prova sui 10m.

- Asse X: per la prova sui 10m, i picchi di velocità laterale sono risultati maggiori, ma meno frequenti, nell'U16. Stesso discorso vale per il grafico delle accelerazioni, in cui si sono registrati picchi più elevati nell'U16. Discorso diverso, invece, per quanto riguarda i valori registrati nella prova dei 30m, in cui i valori di picco sia delle velocità che delle accelerazioni sono simili in entrambi i gruppi di studio.
- Asse Y: anche la velocità media di avanzamento, per la prova sui 10m, è maggiore nel gruppo dell'U16 e così anche i picchi registrati nel grafico delle accelerazioni. Per la prova sui 30m, invece, la velocità media registrata nei primi metri di corsa è molto simile tra i due gruppi (leggermente maggiore nel gruppo dell'U16), per poi aumentare maggiormente nel gruppo dell'U18 verso la fine della prova; ciò si rispecchia nell'accelerazione in cui vengono registrati dei picchi maggiori per l'U18 nell'ultima parte della corsa.
- Asse Z: analogamente, anche per quanto riguarda velocità e accelerazione verticale, sui 10m, si evidenziano picchi più elevati nel gruppo dell'U16, con un andamento più sinusoidale, rispetto a quello dell'U18. Nei 30m la velocità media verticale è molto simile tra i due gruppi, nei primi metri, per poi mantenere dei valori maggiori nell'U18 rispetto all'U16, con un andamento più lineare nel primo gruppo. Anche l'accelerazione

media segue un andamento più lineare nel gruppo dell'U18 rispetto all'U16, in cui si registrano picchi più elevati sia positivi che negativi.

5. DISCUSSIONE

Il dato di maggiore interesse, per poter valutare la postura e l'assetto di corsa e, di conseguenza, per fare una valutazione ai fini della prevenzione degli infortuni, è l'andamento verticale del CoM. Secondo Myunghyun Lee et al. le relazioni tra il CoM e le forze degli arti inferiori, durante la deambulazione, sono riprodotte dal semplice sistema meccanico della molla, perciò i segmenti degli arti inferiori dipendono dal movimento del CoM durante la deambulazione. Da questa premessa quindi la cinetica e la cinematica degli arti inferiori potrebbero essere approssimate come la somma ponderata della cinematica del CoM e, secondo il principio meccanico della molla, c'è una relazione lineare tra CoM, forze di reazione al suolo (GRF) e centro di pressione (CoP)^{25 26}. A questo proposito sono stati confrontati i grafici dell'andamento del CoM lungo la verticale, valutandone perciò il suo spostamento sul piano sagittale. Dai risultati ottenuti, relativi alla prova sui 30m, che è quella comune a tutte e tre le categorie, si evidenzia come l'andamento medio del CoM della Prima squadra sia, per tutta la durata del test, il più basso e per di più con un andamento decrescente, a differenza, invece, dell'U16 e dell'U18 in cui il CoM segue un andamento medio crescente, con una crescita maggiore per quanto riguarda il gruppo dell'U18. Inoltre, considerando i tre grafici di confronto, si può notare chiaramente come l'andamento del CoM dell'U16 sia quello che presenta un maggior numero di oscillazioni verticali, rispetto all'U18 e alla Prima squadra in cui il CoM ha un andamento più oscillatorio nei primi metri di corsa, per poi man mano appiattirsi.

Da questi grafici, quindi, si può dedurre che i soggetti appartenenti alla Prima squadra abbiano tenuto un assetto di corsa più basso e quindi più chiuso in avanti e una velocità di corsa più costante, in quanto i picchi dell'accelerazione del CoM in avanzamento sono più smorzati rispetto agli altri gruppi e l'aumento è minore. Per quanto riguarda i soggetti dell'U16 e dell'U18, invece, il loro assetto di corsa è più chiuso nei primi metri di corsa, consono con la postura più ribassata assunta alla partenza, e, con l'avanzare dei metri, la

²⁵ Myunghyun Lee et al. Estimation of Three-Dimensional Lower Limb Kinetics Data during Walking Using Machine Learning from a Single IMU Attached to the Sacrum, 2020

²⁶ Hyerim Lim et al. Prediction of Lower Limb Kinetics and Kinematics during Walking by a Single IMU on the Lower Back Using Machine Learning, 2019

posizione verticale del CoM si alza in maniera costante, dimostrando un'apertura dell'assetto di corsa e quindi una maggiore distensione.

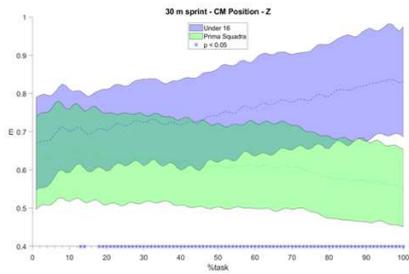


Figura 18_Andamento verticale CoM Prima squadra Vs U16

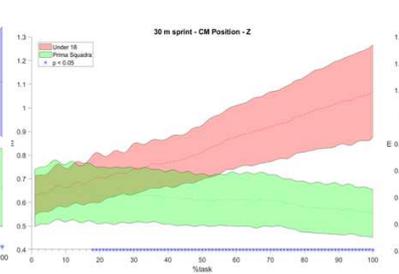


Figura 19_Andamento verticale CoM Prima squadra Vs U18

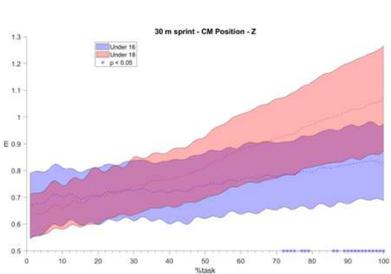


Figura 20_Andamento verticale CoM U16 Vs U18

Secondo la teoria delle sei determinanti del cammino (Saunders et al. 1953) gli spostamenti verticali e orizzontali del CoM sono energeticamente costosi, perciò, movimenti come la flessione del ginocchio durante la fase di appoggio e le rotazioni del bacino sono coordinati in modo da ridurre gli spostamenti del CoM. Secondo questa teoria, quindi, più l'andamento verticale del CoM è lineare, più è economico il gesto. Teorie successive, però, come la teoria del pendolo invertito (Cavagna et al. 1963) suggeriscono come risultati energeticamente meno costoso che la gamba in appoggio agisca come un pendolo e prescriva un arco e che quindi l'energia potenziale cinetica e gravitazionale del CoM fluttui. Secondo questa teoria, infatti, gli esseri umani consumano più energia metabolica quando riducono volontariamente lo spostamento verticale del CoM rispetto alla loro normale andatura, perciò, è più economico mantenere il naturale andamento verticale oscillatorio del CoM, che si traduce automaticamente in un cambiamento nella componente verticale della velocità di quest'ultimo.²⁷

Secondo una review del 2021, relativa alla risposta biomeccanica degli arti inferiori in seguito ad affaticamento legato alla corsa, lo spostamento verticale del CoM indica un maggiore trasferimento di energia, conseguente all'impatto, al corpo e una riduzione dell'energia potenziale elastica assorbita dall'impatto. Un aumento di questo movimento verticale del CoM, quindi, punta verso una minore efficienza energetica nell'andatura della corsa e una tecnica di corsa non ottimale.²⁸

²⁷ Arthur D. Kuo, The six determinants of gait and the inverted pendulum analogy: A dynamic walking perspective, 2007

²⁸ Salil Apte et al. Biomechanical Response of the Lower Extremity to Running-Induced Acute Fatigue: A Systematic Review, 2021

Come riportato nei capitoli precedenti, la principale metodica utilizzata per valutare la prevenzione degli infortuni è la valutazione diretta delle forze di reazione al suolo, dei tempi di contatto e delle dimensioni della falcata, attraverso l'utilizzo delle pedane di forza, e la valutazione dell'intervento muscolare, attraverso l'elettromiografia. Queste metodologie, però, risultano più invasive e più difficili da trasportare fuori dal laboratorio; per questo motivo, in questa tesi, si è cercato un modo più ecologico e meno invasivo per valutare la corsa. Un metodo, ormai largamente utilizzato, che si può sfruttare anche al di fuori del laboratorio, è l'utilizzo dei sensori inerziali (IMU) come l'accelerometro e il giroscopio. Al fine di confrontare la metodica della video analisi, utilizzata in questa tesi, con la valutazione della corsa attraverso IMU, sono stati presi in considerazione 30 articoli (utilizzando le parole chiave *IMU*, *running*, *biomechanics* nei principali motori di ricerca come PubMed, Scopus e Google Scholar). La maggior parte degli studi valutati si sono concentrati sullo studio del cammino e della corsa attraverso l'utilizzo di diversi IMU fatti indossare contemporaneamente ai soggetti, questo però, porta ad un maggiore ingombro a cui il soggetto deve far fronte durante l'esecuzione della prova. In 7 studi si è cercato di ridurre il più possibile l'ingombro, cercando di preservare maggiormente la naturalezza e l'economicità del gesto, attraverso l'utilizzo di un singolo sensore inerziale. Il posizionamento del sensore IMU era così diviso tra gli studi:

- 3 studi hanno utilizzato un sensore inerziale posto nella scarpa
- 4 studi hanno utilizzato un sensore inerziale posto a livello sacrale (come approssimazione del CoM)^{29 30 31 32}.

Soffermendosi sui 4 studi che hanno trattato l'IMU a livello del CoM, si evince come, analogamente ai dati ottenuti con il progetto di tesi, attraverso la posizione e l'accelerazione del CoM è possibile ottenere i valori delle GRF, del CoP, gli angoli del piede, il tempo di contatto e il tempo di volo, formulandoli come somma ponderata delle posizioni del CoM. Le principali differenze tra IMU e video analisi, che sono state evidenziate da questi studi, vengono elencate di seguito.

²⁹ Hyerim Lim et al. Prediction of Lower Limb Kinetics and Kinematics during Walking by a Single IMU on the Lower Back Using Machine Learning , 2019

³⁰ Myunghyun Lee et al. Estimation of Three-Dimensional Lower Limb Kinetics Data during Walking Using Machine Learning from a Single IMU Attached to the Sacrum, 2020

³¹ Mohamed Irfan Mohamed Refai et al. Portable Gait Lab: Estimating Over-Ground 3D Ground Reaction Forces Using Only a Pelvis IMU, 2020

³² Aurélien Patoz et al. A Single Sacral-Mounted Inertial Measurement Unit to Estimate Peak Vertical Ground Reaction Force, Contact Time, and Flight Time in Running, 2022

- Attraverso il tracking del CoM tramite analisi video, il dato primario che viene registrato è quello relativo al posizionamento del CoM nello spazio tridimensionale, da cui poi vengono calcolate anche la sua velocità e la sua accelerazione. Con l'accelerometro a livello sacrale, invece, il dato che viene registrato è l'accelerazione del CoM, da cui poi vengono derivate anche la velocità e la posizione.
- La qualità della registrazione dei dati da parte dei sensori inerziali dipende dalla frequenza di campionamento impostata.
- I dati ottenuti attraverso il tracciamento del CoM, dall'analisi video, sono operatore-dipendenti; in quanto il posizionamento del target in corrispondenza del marker su L5, per ogni frame, dipende dalla precisione dell'operatore.
- La presenza di oggetti ferromagnetici può distorcere le misurazioni da sistemi inerziali.³³
- Gli IMU, per quanto presentino dimensioni ridotte e siano portatili, presentano comunque un ingombro maggiore a carico del soggetto rispetto al semplice marker di tape bianco.
- In entrambi i casi il posizionamento dello strumento influisce sui dati finali.
- Gli IMU, grazie alla loro portabilità, possono essere utilizzati per valutare le attività della vita quotidiana e lavorativa (possono essere utilizzati per valutare la prevenzione degli infortuni in ambiente lavorativo).

Di seguito vengono riportati dei grafici di confronto tra le accelerazioni del CoM, durante la corsa, registrate in questo studio di tesi, su un soggetto preso a campione, e quelle registrate da uno studio con accelerometro a livello sacrale.³⁴ (Ulteriori grafici sono riportati in appendice)

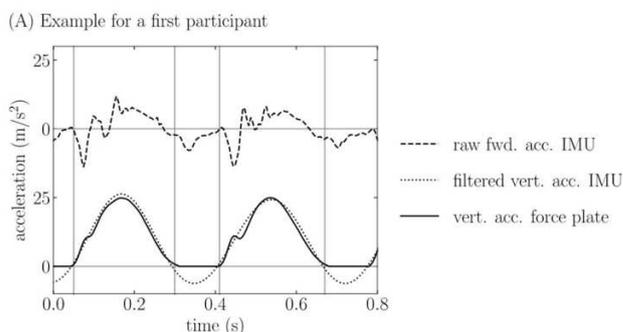


Figura 21 _Accelerazioni soggetto A con IMU³⁴

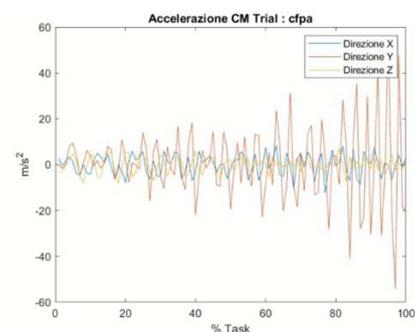


Figura 22 _Accelerazioni giocatore Prima squadra

³³ Yewande Adesida et al. Exploring the Role of Wearable Technology in Sport Kinematics and Kinetics: A Systematic Review, 2019

³⁴ Aurélien Patoz et al. A Single Sacral-Mounted Inertial Measurement Unit to Estimate Peak Vertical Ground Reaction Force, Contact Time, and Flight Time in Running, 2022

CONCLUSIONI

La corsa è uno degli sport più praticati sia a livello professionale che a livello amatoriale, oltre ad essere un'attività che caratterizza molti altri sport, come azione di transizione, tra cui il rugby. I benefici di questa attività sono molteplici, intervenendo positivamente sul sistema cardiovascolare, neuromuscolare, sul controllo del peso, sull'ipertensione e come prevenzione per molte patologie croniche. Al tempo stesso, però, alla corsa si associa un'alta percentuale di infortuni, che colpiscono prevalentemente gli arti inferiori.

In questo progetto di tesi si è voluta studiare la biomeccanica della corsa, prendendo come riferimento dei giocatori di rugby, per migliorarne la tecnica al fine di prevenire gli infortuni ad essa collegati.

A seguito di questo studio di tesi, si può concludere che la valutazione del moto del centro di massa, attraverso la video analisi, sia una metodologia economica e fruibile da tutti, in quanto non richiede attrezzatura evoluta e costosa, non invasiva, perché non richiede l'utilizzo di alcun strumento da dover far indossare al soggetto e di conseguenza gli permette di svolgere il gesto richiesto il più naturalmente possibile, e trasportabile, potendo essere utilizzata direttamente sul campo svincolandosi completamente dal laboratorio.

Attraverso anche la ricerca scientifica e il confronto con altri studi, risulta ormai chiaro come, dalla posizione e dall'accelerazione del CoM, sia possibile risalire a diverse variabili biomeccaniche della corsa, come forze di reazione al suolo, centro di pressione, angoli articolari, cadenza e falcata della corsa, velocità di spostamento.

Inoltre, si evince che i risultati ottenuti siano paragonabili a quelli registrati utilizzando i sensori inerziali, con il beneficio dell'assenza di ingombro.

I limiti riscontrati da questa ricerca sono la dipendenza dall'operatore, per quanto riguarda il corretto tracciamento del marker durante la prova, la suscettibilità agli spostamenti, nel caso in cui il marker non aderisca perfettamente al soggetto o nel caso quest'ultimo indossi dell'abbigliamento non perfettamente aderente, e la dipendenza dalle telecamere, le registrazioni infatti sono legate alla durata della batteria delle telecamere utilizzate, inoltre, a differenza degli IMU, che possono essere utilizzati per le azioni di vita quotidiana, potendo essere continuamente indossati, l'analisi video permette di fare solamente la valutazione del movimento che avviene all'interno del campo visivo della telecamera.

Dai dati raccolti è stato possibile stilare un protocollo di esercizi per il miglioramento della tecnica di corsa e per il miglioramento della risposta neuromuscolare al fine di prevenire gli

infortuni legati alla corsa durante le partite e gli allenamenti di rugby, focalizzandosi in modo particolare sugli esercizi propriocettivi per gli arti inferiori, nello specifico per il piede.

Gli obiettivi futuri saranno la valutazione e il confronto dei parametri biomeccanici calcolabili dai dati ottenuti dal CoM (GRF, CoP, angoli articolari, cadenza e lunghezza del passo) e la valutazione delle pressioni, registrate dalle solette (che erano state fatte indossare agli atleti, ma i cui dati non sono stati presi in considerazione per questo studio) a seguito dei diversi appoggi del piede con il terreno. Da questi risultati sarà poi possibile confrontare i dati di GRF e CoP registrati con le solette di pressione rispetto ai valori calcolati dalle misurazioni del CoM.

BIBLIOGRAFIA

- Alessandra B. Matias et al. Protocol for evaluating the effects of a therapeutic foot exercise program on injury incidence, foot functionality and biomechanics in long-distance runners: a randomized controlled trial, *BMC Musculoskeletal Disorder*, 2016
- Alexandra Giraldo-Pedroza et al. Effects of Wearable Devices with Biofeedback on Biomechanical Performance of Running. *A Systematic Review*, 2020
- Allison R. Altman et al. Barefoot running: biomechanics and implications for running injuries, 2012
- Andrea Ancillao et al. Indirect Measurement of Ground Reaction Forces and Moments by Means of Wearable Inertial Sensors: A Systematic Review, 2018
- Andreas Freitag et al. Systematic review of rugby injuries in children and adolescents under 21 years, 2015
- Arthur D. Kuo, The six determinants of gait and the inverted pendulum analogy: A dynamic walking perspective, 2007
- Aurélien Patoz et al. A Single Sacral-Mounted Inertial Measurement Unit to Estimate Peak Vertical Ground Reaction Force, Contact Time, and Flight Time in Running, 2022
- Aurélien Patoz et al. Both a single sacral marker and the whole-body center of mass accurately estimate peak vertical ground reaction force in running, 2021
- B. Tirotti Saragiotto et al. What are the Main Risk Factors for Running-Related Injuries?, *Sport Medicine*, 2014
- Chris Napier, *Scienza della Corsa, Migliorare la tecnica e l'allenamento, prevenire gli infortuni*, Gribaudo, Prima edizione, 2020
- Christopher Napier et al. The use of a single sacral marker method to approximate the centre of mass trajectory during treadmill running, 2020
- Cornelis J. de Ruiter et al. Stride Lengths during Maximal Linear Sprint Acceleration Obtained with Foot-Mounted Inertial Measurement Units, 2022
- Cristine E. Agresta et al. Experience does not influence injury-related joint kinematics and kinetics in distance runners, 2018
- Cynthia R. Lee et al. Determinants of the center of mass trajectory in human walking and running, 1998
- Daniel Hung Kay Chow et al. Comparison between Accelerometer and Gyroscope in Predicting Level-Ground Running Kinematics by Treadmill Running Kinematics Using a Single Wearable Sensor, 2021
- Diego Jaén-Carrillo et al. Mechanical Power in Endurance Running: A Scoping Review on Sensors for Power Output Estimation during Running, 2020
- Douglas Adams PT et al. Altering cadence or vertical oscillation during running: effects on running related injury factors, 2018
- E Bottini et al. Incidence and nature of the most common rugby injuries sustained in Argentina (1991–1997), 1997
- Emily S. Matijevich et al. A Promising Wearable Solution for the Practical and Accurate Monitoring of Low Back Loading in Manual Material Handling, 2021
- Emily S. Matijevich et al. Combining wearable sensor signals, machine learning and biomechanics to estimate tibial bone force and damage during running, 2020
- Emir Benca et al. Analysis of Running-Related Injuries: The Vienna Study, 2020
- Federazione Italiana Rugby, Regolamento di gioco in sintesi, 6ª edizione 2009-2010
- G. A. Cavagna, et al. External work in walking, 2018
- Gâelle Prigent et al. Concurrent Evolution of Biomechanical and Physiological Parameters With Running-Induced Acute Fatigue, 2022
- Henk van der Worp et al. Do runners who suffer injuries have higher vertical ground reaction forces than those who remain injury-free? A systematic review and meta-analysis, 2016
- https://passport.world.rugby/media/q4nnirxr/activate_adult_master_layout_a4-smallest-file-size.pdf
- https://www.treccani.it/enciclopedia/rugby_%28Enciclopedia-dello-Sport%29/
- https://www.wikiwand.com/it/Numerazione_dei_ruoli_nel_rugby_a_15#/google_vignette
- Hyerim Lim et al. Prediction of Lower Limb Kinetics and Kinematics during Walking by a Single IMU on the Lower Back Using Machine Learning, 2019
- Iván Nacher Moltó et al. Wearable Sensors Detect Differences between the Sexes in Lower Limb Electromyographic Activity and Pelvis 3D Kinematics during Running, 2020

- Jace A. Delaney et al. Establishing Duration-Specific Running Intensities From Match-Play Analysis in Rugby League, 2015
- Javier Martínez-Gramage et al. A Random Forest Machine Learning Framework to Reduce Running Injuries in Young Triathletes, 2020
- Joana Figueiredo et al. Wearable Inertial Sensor System towards Daily Human Kinematic Gait Analysis: Benchmarking Analysis to MVN BIOMECH, 2020
- Juri Taborri et al. Sport Biomechanics Applications Using Inertial, Force, and EMG Sensors: A Literature Overview, 2020
- K. Till et al. Anthropometric and Physical Qualities of Elite Male Youth Rugby League Players, Review article, 2017, Sports Med
- Karsten Hollander et al. Sex-Specific Differences in Running Injuries: A Systematic Review with Meta-Analysis and Meta-Regression, Sports Medicine, 12 January 2021
- Kevin Till et al. Anthropometric and Physical Qualities of Elite Male Youth Rugby League Players, 2017
- Kjartan Halvorsen et al. Minimal marker set for center of mass estimation in running, 2009
- Laura Susana Vargas-Valencia et al. An IMU-to-Body Alignment Method Applied to Human Gait Analysis, 2016
- Laurent Malisoux et al. Spatiotemporal and Ground-Reaction Force Characteristics as Risk Factors for Running-Related Injury, 2022
- Lauro V. Ojeda et al. Estimating Stair Running Performance Using Inertial Sensors, 2017
- Lin Yu et al. Principal Component Analysis of the Running Ground Reaction Forces With Different Speeds, 2021
- M. L. Bertelsen et al. A framework for the etiology of running-related injuries, 2017
- M. Patucchi, Running "partito di maggioranza", il 51% degli italiani corre almeno una volta al mese, la Repubblica Sport, 2017
- Marco Germanotta et al. Estimation of Human Center of Mass Position through the Inertial Sensors-Based Methods in Postural Tasks: An Accuracy Evaluation, 2021
- Maria Papagiannaki et al. Running-Related Injury From an Engineering, Medical and Sport Science Perspective, 2020
- Marit A. Zandbergen et al. Drift-Free 3D Orientation and Displacement Estimation for Quasi-Cyclical Movements Using One Inertial Measurement Unit: Application to Running, 2022
- Markus Zrenner et al. Comparison of Different Algorithms for Calculating Velocity and Stride Length in Running Using Inertial Measurement Units, 2018
- Michael Garraway et al. Epidemiology of rugby football injuries, 1995
- Mohamed Irfan Mohamed Refai et al. Portable Gait Lab: Estimating Over-Ground 3D Ground Reaction Forces Using Only a Pelvis IMU, 2020
- Mohsen Gholami et al. Estimating Lower Extremity Running Gait Kinematics with a Single Accelerometer: A Deep Learning Approach, 2020
- Myunghyun Lee et al. Estimation of Three-Dimensional Lower Limb Kinetics Data during Walking Using Machine Learning from a Single IMU Attached to the Sacrum, 2020
- Niels J. Nedergaard et al. The feasibility of predicting ground reaction forces during running from a trunk accelerometry driven mass-spring- damper model, 2018
- Niels P. Brouwer et al. 3D trunk orientation measured using inertial measurement units during anatomical and dynamic sports motions, 2020
- Nizam U. Ahamed et al. New Considerations for Collecting Biomechanical Data Using Wearable Sensors: How Does Inclination Influence the Number of Runs Needed to Determine a Stable Running Gait Pattern?, 2019
- Nizam U. Ahamed et al. Using wearable sensors to classify subject- specific running biomechanical gait patterns based on changes in environmental weather conditions, 2018
- P. E. Martin et al. Biomechanical considerations for economical walking and running, 1992
- Patrick Blauburger et al. Detection of Ground Contact Times with Inertial Sensors in Elite 100-m Sprints under Competitive Field Conditions, 2021
- Riccardo Di Maio, Modello di prestazione del rugby nel campionato di eccellenza. Sviluppo e comprensione dei dati GPS, fiamme oro rugby, 2014
- Running USA. 2014 state of the sport-part II: running industry report. Available at: <http://www.runningusa.org/2014-running- industry-report?returnTo=annual-reports>. Accessed 6 Aug 2014.

- Ryan S. Alcantara et al. Predicting continuous ground reaction forces from accelerometers during uphill and downhill running: a recurrent neural network solution, 2022
- Ryan S. Alcantara et al. Sacral acceleration can predict whole-body kinetics and stride kinematics across running speeds, 2021
- Salil Apte et al. Biomechanical Response of the Lower Extremity to Running-Induced Acute Fatigue: A Systematic Review, 2021
- Samuel R. Hamner et al. Muscle contributions to fore-aft and vertical body mass center accelerations over a range of running speeds, 2013
- Sheila A Dugan et al. Biomechanics and analysis of running gait, 2005
- Simon C. McSweeney et al. Adolescent Running Biomechanics - Implications for Injury Prevention and Rehabilitation, 2021
- Solvej Videbæk et al. Incidence of Running-Related Injuries Per 1000 h of running in Different Types of Runners: A Systematic Review and Meta-Analysis, 2015
- Terry L Nicola et al. The anatomy and biomechanics of running, 2012
- Thomas Provot et al. Validation of a High Sampling Rate Inertial Measurement Unit for Acceleration During Running, 2017
- Tom F. Novacheck, The biomechanics of running, 1997
- Van Der Worp MP, Ten Haaf DSM, Van Cingel R, De Wijer A, Nijhuis-Van Der Sanden MWG, Bart Staal J. Injuries in runners; a systematic review on risk factors and sex differences. PLoS One. 2015;10:1–18.
- Vitor Tessutti et al. Attenuation of foot pressure during running on four different surfaces: asphalt, concrete, rubber, and natural grass, 2012
- Wallace O. Fenn et al. Frictional and kinetic factors in the work of sprint running, 1929
- Wolfgang Teufl et al. Validity of inertial sensor based 3D joint kinematics of static and dynamic sport and physiotherapy specific movements, 2019
- Xiaole Sun et al. Systematic Review of the Role of Footwear Constructions in Running Biomechanics: Implications for Running-Related Injury and Performance, 2020
- Yewande Adesida et al. Exploring the Role of Wearable Technology in Sport Kinematics and Kinetics: A Systematic Review, 2019
- Yingzhou Han et al. A Self-Powered Insole for Human Motion Recognition, 2016

APPENDICE

Prima squadra						
ORDINE ACQUISIZIONE	SOGGETTI	ETÀ	ALTEZZA (m)	PESO (kg)	BMI	N° SCARPE
1	Soggetto 1	24	1,80	71	21,91	42
2	Soggetto 2	25	1,75	95	31,02	45
3	Soggetto 3	22	1,8	93	28,70	45
4	Soggetto 4	20	1,76	85	27,44	43
5	Soggetto 5	31	1,9	90	24,93	45
6	Soggetto 6	28	1,83	83	24,78	43
7	Soggetto 7	21	1,8	82	25,31	45
8	Soggetto 8	22	1,7	85	29,41	44
9	Soggetto 9	18	1,78	75	23,67	44
10	Soggetto 10	21	1,76	74	23,89	42
11	Soggetto 11	22	1,88	85	24,05	44
12	Soggetto 12	21	1,78	83	26,20	43
13	Soggetto 13	22	1,9	96	26,59	46
14	Soggetto 14	20	1,85	85	24,84	43
15	Soggetto 15	33	1,98	107	27,29	47
16	Soggetto 16	37	1,78	82	25,88	43
17	Soggetto 17	25	1,85	83	24,25	44
18	Soggetto 18	27	1,75	80	26,12	41
19	Soggetto 19	25	1,78	92	29,04	44
MEDIA			1,81	85,58	26,07	43,84

Dati anagrafici e antropometrici atleti Prima squadra (forniti dagli atleti)

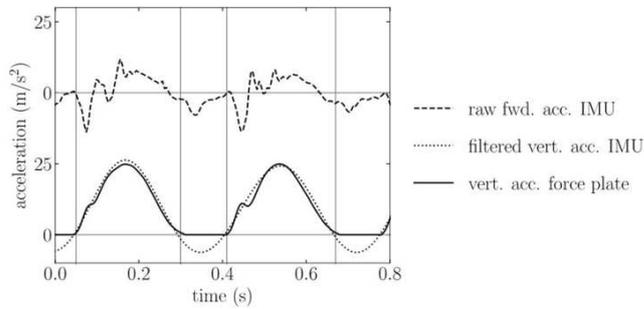
U18						
ORDINE ACQUISIZIONE	ACRONIMO	ETÀ	ALTEZZA (m)	PESO (kg)	BMI	N° SCARPE
1	Soggetto 1	16	1,71	68	23,26	43
2	Soggetto 2	17	1,85	71	20,75	45
3	Soggetto 3	18	1,73	62	20,72	40
4	Soggetto 4	16	1,85	95	27,76	45
5	Soggetto 5	19	1,75	65	21,22	41,5
6	Soggetto 6	19	1,78	118	37,24	45,5
7	Soggetto 7	18	1,81	75	22,89	43
8	Soggetto 8	18	1,88	83	23,48	44
9	Soggetto 9	19	1,7	66	22,84	43
10	Soggetto 10	16	1,9	74	20,50	48
MEDIA			1,80	77,7	24,07	43,8

Dati anagrafici e antropometrici atleti Under 18 (forniti dagli atleti)

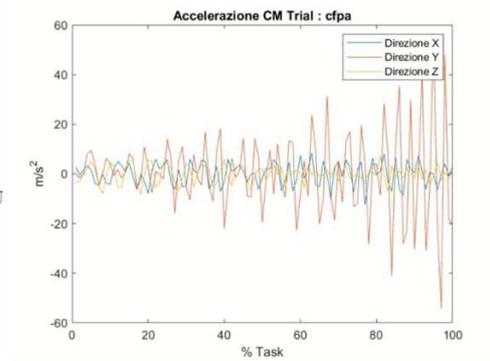
U16						
ORDINE ACQUISIZIONE	ACRONIMO	ETÀ	ALTEZZA (m)	PESO (kg)	BMI	N° SCARPE
1	Soggetto 1	16	1,7	60	20,76	41,5
2	Soggetto 2	15	1,8	85	26,23	45
3	Soggetto 3	15	1,75	78	25,47	43
4	Soggetto 4	16	1,78	65	20,52	45
5	Soggetto 5	16	1,65	70	25,71	43
6	Soggetto 6	15	1,88	78	22,07	44,5
7	Soggetto 7	16	1,73	70	23,39	43,5
8	Soggetto 8	16	1,81	73	22,28	44,5
		MEDIA	1,76	72,38	23,30	43,75

Dati anagrafici e antropometrici atleti Under 16 (forniti dagli atleti)

(A) Example for a first participant

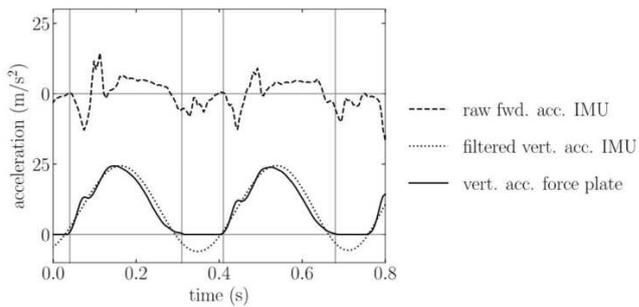


Accelerazioni soggetto A con IMU³⁴

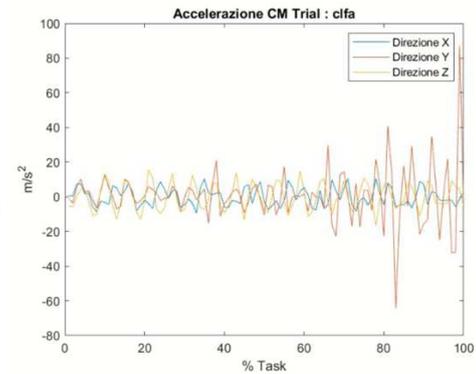


Accelerazioni giocatore Prima squadra

(B) Example for a second participant

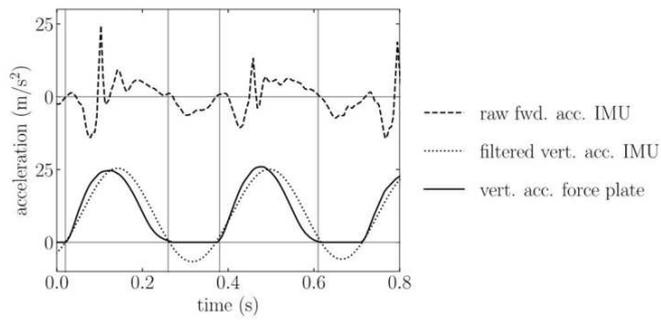


Accelerazioni soggetto B con IMU³⁴

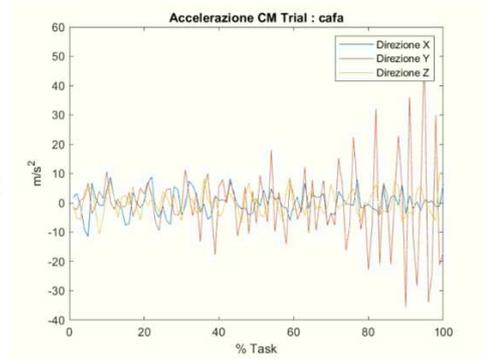


Accelerazioni giocatore U18

(C) Example for a third participant



Accelerazioni soggetto C con IMU³⁴



Accelerazioni giocatore U16