

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

SCUOLA DI SCIENZE MEDICHE E FARMACEUTICHE
DIPARTIMENTO DI MEDICINA SPERIMENTALE (DIMES)

**Corso di Laurea magistrale in Scienze e tecniche dello sport
(LM-68)**



**Università
di Genova**

***Analisi del carico esterno nel rugby professionistico: differenze per ruolo e
relazione con le collisioni***

Studio osservazionale su dati GPS raccolti durante un'intera stagione professionistica

Relatore
Marco Panasci

Co relatore
Vittoria Ferrando

Candidato
Lorenzo Manfrè

Anno accademico 2025/2026

Sommario

1. Il rugby: caratteristiche e richieste fisiche	1
1.1 Descrizione generale del rugby union	2
1.2 Struttura del gioco e principali fasi	2
1.3 Ruoli e differenze posizionali	2
1.4 Richieste fisiche nel rugby moderno	3
1.5 Il concetto di carico di lavoro nel rugby	4
1.6 Il ruolo delle collisioni nella performance	4
2. Il monitoraggio del carico: la tecnologia GPS	6
2.1 Il monitoraggio del carico negli sport di squadra	6
2.2 Carico interno e carico esterno	6
2.3 La tecnologia GPS: principi di funzionamento	7
2.4 Validità e affidabilità dei dispositivi GPS	7
2.5 Le principali metriche di carico esterno	8
2.5.1 Distanza totale	8
2.5.2 Corsa ad alta velocità (High-Speed Running)	8
2.5.3 Accelerazioni e Acceleration Load	8
2.5.4 Altri indicatori rilevanti	8
2.6 Il monitoraggio delle collisioni: metodi e limiti	9
2.7 Applicazioni pratiche del GPS nel rugby	9
3. Parte sperimentale	11
3.1 Scopo dello studio e ipotesi	11
3.2 Disegno sperimentale	11
3.3 Partecipanti	12
3.4 Procedure	13
3.5 Analisi statistica	14
3.6 Risultati	15
4. Discussione	20
5. Conclusioni	23
6. Bibliografia	25
 Figura 1	3
Figura 2	5
Figura 3	10
Figura 4	16
 Tabella 1	17
Tabella 2	19

1. Il rugby: caratteristiche e richieste fisiche

1.1 Descrizione generale del rugby union

Il rugby union è uno sport di squadra ad alto impegno fisico e tecnico, nel quale fasi di gioco molto intense si alternano di continuo a momenti di recupero attivo. Si disputa fra due squadre di quindici giocatori ciascuna, con l'obiettivo di segnare punti realizzando mete o calci piazzati.

Rispetto ad altri sport di invasione, il rugby ha una caratteristica che ne condiziona l'intera struttura: il pallone può essere passato soltanto all'indietro o lateralmente, mentre il terreno si guadagna correndo palla in mano oppure calciando. Questo vincolo regolamentare impone un'organizzazione collettiva continua e un costante sostegno al portatore di palla (Duthie, Pyne & Hooper, 2003).

A rendere il gioco così esigente sul piano fisico è soprattutto la componente di contatto, che si concentra nei placcaggi, nelle fasi statiche e nelle situazioni di contesa del pallone. Proprio per questo il rugby viene considerato uno degli sport più completi in termini di richieste atletiche (Quarrie & Hopkins, 2007).

1.2 Struttura del gioco e principali fasi

La partita si sviluppa attraverso una successione di fasi dinamiche e statiche, riconducibili al possesso, alla difesa e alle transizioni fra le due. Tra gli eventi dinamici, la ruck è di gran lunga il più frequente e ricorre numerose volte nell'arco dei minuti di gioco (Jones et al., 2015).

Le fasi statiche, come la mischia ordinata e la touche, pesano in egual misura sul piano tecnico-tattico e su quello fisico: richiedono livelli elevati di forza e una stretta coordinazione fra i giocatori del pacchetto (Duthie et al., 2003).

1.3 Ruoli e differenze posizionali

Una delle peculiarità del rugby è la forte specializzazione dei ruoli, che si traduce in richieste fisiche e prestantive molto diverse da una posizione all'altra.

I giocatori si distinguono in avanti (forwards) e tre quarti (backs), categorie che differiscono per composizione corporea, qualità fisiche e compiti di gioco. Gli avanti sono i più coinvolti nelle fasi di contatto e accumulano un numero maggiore di collisioni; i tre quarti, al contrario, percorrono distanze più ampie ad alta velocità (Cunniffe et al., 2009; Austin et al., 2011). Si tratta di differenze ben documentate, che costituiscono un riferimento imprescindibile nella pianificazione dell'allenamento (Jones et al., 2015).

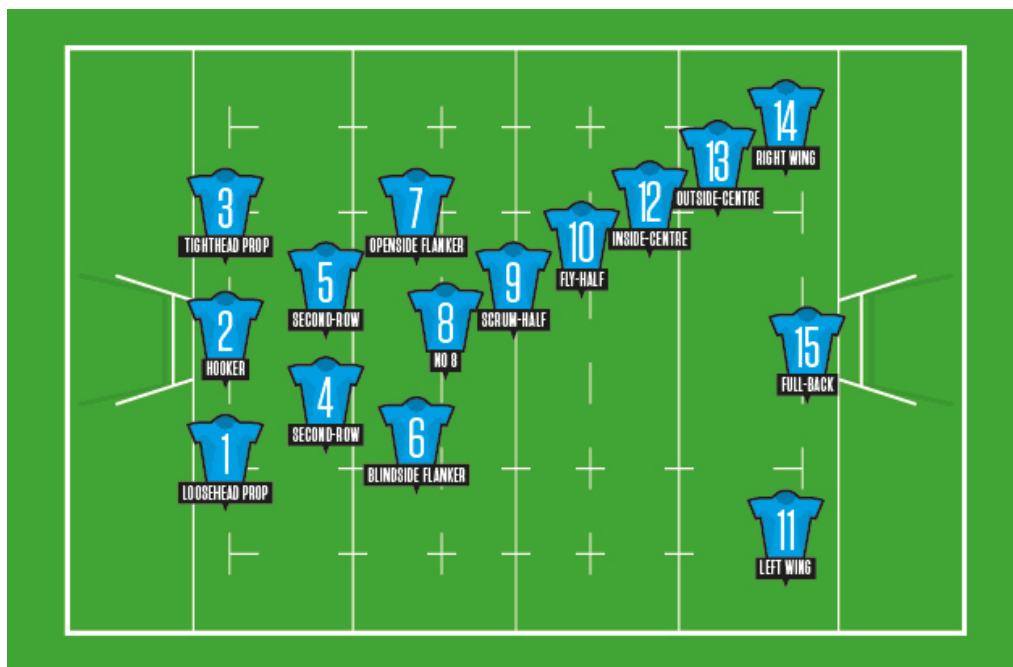


Figura 1

1.4 Richieste fisiche nel rugby moderno

Il rugby contemporaneo è caratterizzato da ritmi elevati e da richieste fisiche in costante crescita. Gli atleti devono sostenere sforzi intermittenti che combinano impegno aerobico e anaerobico con una marcata componente neuromuscolare, legata ai cambi di direzione e alle collisioni (Gabbett, 2012).

La gara ha un andamento intermittente, con continue variazioni di intensità e numerose azioni ad alta velocità. Diversi studi hanno documentato un aumento delle attività ad alta intensità nel rugby professionistico, a conferma di quanto sia importante monitorare con attenzione questi parametri (Cahill et al., 2013).

1.5 Il concetto di carico di lavoro nel rugby

Il carico di lavoro è uno dei concetti chiave della preparazione atletica e si articola in due componenti, il carico interno e il carico esterno (Impellizzeri, Rampinini & Marcora, 2005).

Nel rugby il carico esterno riveste un'importanza particolare, perché permette di quantificare in modo oggettivo le richieste della competizione attraverso parametri come la distanza percorsa, la velocità e le accelerazioni (Cummins et al., 2013). Analizzarlo significa comprendere le esigenze specifiche di ciascun ruolo, ottimizzare la programmazione e, non da ultimo, contribuire alla prevenzione degli infortuni (Gabbett, 2016).

1.6 Il ruolo delle collisioni nella performance

Le collisioni sono un tratto distintivo del rugby e incidono in misura rilevante sul carico complessivo dei giocatori. Comprendono i placcaggi, i contrasti e la partecipazione alle fasi di ruck e maul.

Sul piano fisiologico comportano uno stress neuromuscolare e metabolico elevato, che le sole metriche locomotorie spesso non riescono a cogliere appieno (McLellan & Lovell, 2013). È questa la ragione per cui integrare i dati di corsa con quelli relativi al contatto risulta indispensabile per valutare in modo completo il carico esterno nel rugby moderno (Jones et al., 2015).



Figura 2

2. Il monitoraggio del carico: la tecnologia GPS

2.1 Il monitoraggio del carico negli sport di squadra

Negli sport di squadra il monitoraggio del carico è ormai uno strumento imprescindibile, sia per migliorare la prestazione sia per ridurre il rischio di infortunio. Lo sviluppo tecnologico degli ultimi anni ha reso possibile raccogliere dati sempre più accurati e dettagliati sulle richieste fisiche degli atleti (Cummins et al., 2013).

Nel rugby, dove convivono un'elevata variabilità di intensità e una forte componente di contatto, questo monitoraggio è al tempo stesso complesso e necessario. Poter misurare in modo oggettivo il lavoro svolto in allenamento e in partita consente agli staff tecnici di programmare i carichi con maggiore precisione (Gabbett, 2016).

2.2 Carico interno e carico esterno

Il carico di lavoro si scompone in due grandi componenti, quella interna e quella esterna.

Il carico interno descrive la risposta fisiologica dell'organismo allo stimolo allenante e si valuta tipicamente attraverso parametri come la frequenza cardiaca, la lattacidemia o la percezione dello sforzo (RPE) (Impellizzeri et al., 2005).

Il carico esterno riguarda invece il lavoro fisico effettivamente prodotto dall'atleta, a prescindere dalla risposta individuale, e include la distanza percorsa, la velocità, il numero di accelerazioni e le collisioni (Cummins et al., 2013). Pur essendo l'analisi congiunta delle due componenti la strategia più efficace per descrivere le reali richieste della prestazione (Halsen, 2014), è il carico esterno ad aver assunto un ruolo centrale, proprio grazie alla possibilità di essere misurato oggettivamente con dispositivi dedicati.

2.3 La tecnologia GPS: principi di funzionamento

I dispositivi GPS (Global Positioning System) sono oggi tra gli strumenti più diffusi per monitorare il carico esterno negli sport di squadra. Funzionano ricevendo i segnali di una rete di satelliti, che permettono di stabilire la posizione dell'atleta nello spazio e nel tempo (Cummins et al., 2013).

Registrando la posizione in modo continuo, questi dispositivi ricavano diverse variabili cinematiche, dalla velocità alla distanza percorsa fino alle accelerazioni. I sistemi più recenti lavorano a frequenze di campionamento elevate (10 Hz o superiori), che assicurano una maggiore precisione nella rilevazione dei movimenti ad alta intensità (Johnston et al., 2014). A questi si affiancano spesso accelerometri triassiali, giroscopi e magnetometri, che aggiungono informazioni sulle sollecitazioni meccaniche e sugli eventi di contatto (Boyd et al., 2011).

2.4 Validità e affidabilità dei dispositivi GPS

La validità e l'affidabilità dei sistemi GPS sono state ampiamente studiate. Nel complesso questi strumenti si sono dimostrati validi nel misurare la distanza percorsa e le velocità medie, mentre conservano qualche limite nella rilevazione dei movimenti ad altissima intensità e dei cambi di direzione rapidi (Cummins et al., 2013). La precisione dipende da più fattori, tra cui la frequenza di campionamento dell'unità, le condizioni ambientali e il numero di satelliti disponibili (Johnston et al., 2014). Pur con questi limiti, il GPS rappresenta oggi lo standard di riferimento per il monitoraggio del carico esterno negli sport di squadra, rugby compreso (Scott et al., 2016).

2.5 Le principali metriche di carico esterno

Grazie ai dispositivi GPS è possibile ottenere un ampio ventaglio di variabili utili a descrivere le richieste fisiche della prestazione.

2.5.1 Distanza totale

La distanza totale è una delle metriche più immediate e diffuse per quantificare il volume di lavoro. Fornisce un'indicazione generale del carico locomotorio, ma non distingue tra le diverse intensità di corsa (Cunniffe et al., 2009).

2.5.2 Corsa ad alta velocità (High-Speed Running)

Con High-Speed Running (HSR) si indica la distanza percorsa oltre determinate soglie di velocità. Nel rugby le più utilizzate sono >18 km/h, >20 km/h e >25 km/h (Cahill et al., 2013). È una metrica particolarmente significativa per i tre quarti, i più coinvolti nelle azioni veloci, ma resta comunque un buon indicatore della capacità di sostenere sforzi ad alta intensità (Austin et al., 2011).

2.5.3 Accelerazioni e Acceleration Load

Le accelerazioni hanno un peso decisivo nel rugby, perché molte azioni si giocano in spazi ridotti e richiedono rapide variazioni di velocità. L'Acceleration Load è la metrica che quantifica il carico prodotto da accelerazioni e decelerazioni, offrendo una stima dello stress neuromuscolare a cui l'atleta è sottoposto (Boyd et al., 2011). Si tratta di un'informazione preziosa, perché mette in luce richieste che la sola analisi di distanza e velocità non riuscirebbe a evidenziare.

2.5.4 Altri indicatori rilevanti

Oltre alle metriche principali, i sistemi GPS consentono di analizzare ulteriori variabili, tra cui:

- il numero di sprint;
- il tempo trascorso alle diverse intensità;
- il PlayerLoad, derivato dagli accelerometri;
- la densità di accelerazioni.

Tutti questi indicatori concorrono a restituire un quadro più completo del carico esterno (Cummins et al., 2013).

2.6 Il monitoraggio delle collisioni: metodi e limiti

Misurare le collisioni nel rugby resta un problema tutt'altro che banale. I dispositivi GPS, integrati con gli accelerometri, riescono a individuare gli eventi di contatto a partire da variazioni improvvise di accelerazione (McLellan et al., 2011). Il rilevamento automatico, però, non è sempre accurato e spesso richiede il supporto dell'analisi video per validare i dati raccolti (Reardon et al., 2017). Nonostante questi limiti, combinare dati GPS e analisi delle collisioni è un approccio sempre più adottato per stimare il carico complessivo del gioco.

2.7 Applicazioni pratiche del GPS nel rugby

L'introduzione dei dispositivi GPS ha cambiato profondamente il modo in cui il carico di lavoro viene monitorato e gestito nel rugby professionistico. Tra gli impieghi più comuni rientrano:

- l'analisi delle richieste di gara;
- la pianificazione di un allenamento specifico per ruolo;
- il monitoraggio della fatica e del recupero;
- la prevenzione degli infortuni.

Lavorando su questi dati, lo staff tecnico può adattare i carichi alle esigenze del singolo atleta, rendendo la preparazione più efficace e contenendo il rischio di sovraccarico (Gabbett, 2016).



Figura 3

3. Parte sperimentale

3.1 Scopo dello studio e ipotesi

Alla luce di quanto emerso dalla letteratura, il presente studio si pone tre obiettivi. Il primo è descrivere il profilo di carico esterno espresso in gara da una squadra di rugby union professionistico nel corso di un'intera stagione. Il secondo è verificare se e in che misura tale profilo differisca in funzione del ruolo di gioco. Il terzo è analizzare la relazione fra il numero di collisioni e le principali variabili locomotorie e meccaniche, individuando quali fra queste vi siano maggiormente associate.

Sulla base delle evidenze disponibili, ci si attende che: i profili di carico esterno varino in modo significativo fra i ruoli, con i tre quarti caratterizzati da maggiori distanze ad alta velocità e gli avanti da un numero più elevato di collisioni; le distanze ad alta intensità si associno negativamente alle collisioni, mentre le accelerazioni vi si associno positivamente, quali espressione della componente di contatto; l'inclusione del ruolo migliori la capacità di spiegare il numero di collisioni rispetto alle sole variabili locomotorie.

3.2 Disegno sperimentale

Il presente lavoro è uno studio osservazionale longitudinale dedicato all'analisi del carico esterno nel rugby union professionistico, con un'attenzione particolare alle differenze prestative fra i ruoli e alla relazione fra collisioni e principali variabili locomotorie durante il match-play.

L'osservazione ha riguardato la stagione 2024-2025 e ha incluso 20 partite ufficiali della franchigia italiana Zebre Parma, disputate tra United Rugby Championship (URC) ed European Rugby Champions Cup (ERCC). La scelta di un disegno longitudinale ha permesso di seguire in modo sistematico e continuativo le richieste fisiche e meccaniche della competizione lungo

l'intera stagione, descrivendo il profilo di carico esterno espresso in gara in un contesto ecologicamente valido come quello della partita ufficiale.

I dati sono stati raccolti esclusivamente durante le gare ufficiali, tramite dispositivi indossabili basati su tecnologia GPS Catapult, il cui impiego è ampiamente validato in letteratura per il monitoraggio del carico esterno negli sport di squadra ad alta intensità e contatto. Questi strumenti hanno consentito di quantificare in modo oggettivo le principali variabili locomotorie e meccaniche: la distanza totale percorsa, la distanza coperta ad alta velocità (>18 km/h), quella a velocità molto elevata (>20 km/h), quella in sprint (>25 km/h), l'acceleration load e il numero di collisioni registrate in partita.

L'analisi ha considerato sia il gruppo squadra nel suo complesso sia la suddivisione degli atleti per ruolo, allo scopo di far emergere eventuali differenze nelle richieste fisiche associate alle diverse posizioni. È stata inoltre studiata la relazione fra il numero di collisioni e le principali variabili di carico esterno, per chiarire quanto la componente di contatto incida sulle richieste prestative del rugby professionistico.

Tutti i dati impiegati sono stati forniti dallo staff performance delle Zebre Parma e trattati nel rispetto della normativa vigente in materia di protezione dei dati personali, con adeguata anonimizzazione delle informazioni.

3.3 Partecipanti

Allo studio hanno preso parte 48 atleti professionisti della rosa delle Zebre Parma impegnata in URC ed ERCC nella stagione 2024-2025. Le caratteristiche antropometriche del campione erano le seguenti: età $27 \pm 2,8$ anni, statura $186,4 \pm 6$ cm e massa corporea $101,5 \pm 12$ kg.

Ai fini dell'analisi, gli atleti sono stati suddivisi in base al ruolo specifico, secondo la classificazione tradizionale del rugby union: piloni ($n = 9$), tallonatori ($n = 4$), seconde linee (n

= 5), terze linee (n = 9), mediani di mischia (n = 5), mediani di apertura (n = 3), centri (n = 6) e triangolo allargato (n = 7). Questa classificazione ha reso possibile confrontare il carico esterno e le collisioni in rapporto alle diverse richieste fisiche, funzionali e tattiche di ciascun ruolo.

3.4 Procedure

La rilevazione del carico esterno è stata effettuata con dispositivi GPS Catapult, alloggiati in un gilet tecnico elasticizzato indossato nella regione interscapolare, così da garantire uniformità di applicazione e affidabilità nella raccolta.

Le unità venivano attivate già dal riscaldamento pre-gara, ma ai fini dell'analisi i dati sono stati ritagliati a partire dal fischio d'inizio. Per gli atleti subentrati in corso di partita sono stati considerati soltanto i dati successivi all'ingresso effettivo in campo, in modo da analizzare unicamente il carico relativo al match-play.

Al termine di ogni gara i dati grezzi venivano scaricati ed elaborati con il software proprietario Catapult per estrarre le variabili di interesse, quindi esportati in Microsoft Excel per la costruzione del database e la preparazione dell'analisi statistica.

Le collisioni sono state identificate integrando i dati GPS con l'analisi video delle partite, allo scopo di rendere più accurata e affidabile la classificazione degli eventi di contatto: i valori utilizzati derivano quindi dalla combinazione fra rilevamento automatico del sistema Catapult e successiva validazione tramite video analisi.

Le variabili considerate sono state:

- distanza totale percorsa (Total Distance);
- distanza percorsa a velocità superiore a 18 km/h;
- distanza percorsa a velocità superiore a 20 km/h;

- distanza percorsa in sprint (>25 km/h);
- acceleration load;
- numero totale di collisioni.

La scelta è ricaduta su queste variabili in quanto rappresentative delle richieste locomotorie, metaboliche e meccaniche tipiche del rugby professionistico moderno.

3.5 Analisi statistica

Le analisi statistiche sono state condotte mediante il software IBM SPSS Statistics (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Il campione finale includeva un totale di $N = 285$ osservazioni, relative ad atleti d'élite monitorati durante le competizioni ufficiali.

In una fase preliminare, al fine di esplorare le associazioni bivariate tra variabili di natura non normalmente distribuita, è stato applicato il coefficiente di correlazione non parametrico di Spearman (ρ). Tale analisi ha permesso di valutare la direzione e l'intensità delle relazioni tra il numero di Collisioni (variabile dipendente di riferimento) e i parametri di carico esterno derivati da sistemi GPS: Distanza Totale (TD), Distanza a Media Velocità (MSR, >18 km/h), Distanza ad Alta Velocità (HSR, >20 km/h), Distanza a Molto Alta Velocità (VHSR, >25 km/h) e numero di Accelerazioni (Acc).

Successivamente, per investigare il contributo predittivo congiunto delle variabili cinematiche sul numero di collisioni, è stata condotta una regressione lineare multipla gerarchica (metodo Enter). Nel Modello 1 sono stati inseriti esclusivamente i predittori di carico esterno (TD, MSR, HSR, VHSR, Acc), considerando le collisioni come variabile dipendente. Nel Modello 2, il modello è stato esteso includendo la variabile categoriale Ruolo_ID, al fine di controllare l'effetto del ruolo tattico e valutare l'incremento incrementale della varianza spiegata (ΔR^2).

Infine, per analizzare le differenze nei profili di carico e nei tassi di impatto in funzione del ruolo di gioco, è stato implementato un Modello Lineare Generalizzato (GLM) multivariato

(MANOVA) con il Ruolo inserito come fattore fisso tra i soggetti (design: intercetta + ruolo). L'adeguatezza delle assunzioni statistiche è stata verificata mediante il test M di Box per l'omogeneità delle matrici di covarianza e il test di Levene per l'omogeneità delle varianze univariate. La significatività degli effetti multivariati è stata valutata attraverso i principali criteri: Lambda di Wilks (Λ), Traccia di Pillai, Traccia di Hotelling e Radice massima di Roy. Le analisi post-hoc sono state corrette per confronti multipli mediante procedura di Bonferroni. Il livello di significatività è stato fissato a $p < 0.05$.

3.6 Risultati

Analisi di Correlazione (Rho di Spearman)

L'analisi delle correlazioni non parametriche ha evidenziato associazioni statisticamente significative tra il numero di collisioni e le variabili di carico esterno, sebbene con intensità generalmente compresa tra valori deboli e moderati. In particolare, il volume complessivo di attività (TD) ha mostrato una correlazione positiva debole ma significativa con il numero di collisioni ($\rho = 0.152$; $p = 0.010$), suggerendo un incremento degli impatti all'aumentare del carico totale percorso. Al contrario, le variabili legate alle intensità di corsa hanno evidenziato relazioni negative significative: MSR ($\rho = -0.186$; $p = 0.002$), HSR ($\rho = -0.236$; $p < 0.001$) e VHSR ($\rho = -0.284$; $p < 0.001$). Tali risultati indicano una riduzione del numero di collisioni in corrispondenza di profili di movimento caratterizzati da maggiore intensità locomotoria.

Infine, il numero di accelerazioni ha mostrato una correlazione positiva significativa con le collisioni ($\rho = 0.251$; $p < 0.001$), evidenziando il ruolo della componente neuromuscolare e delle variazioni rapide di velocità come potenziale indicatore di esposizione al contatto fisico. Nella Figura 4 sono riportate tutte le correlazioni.

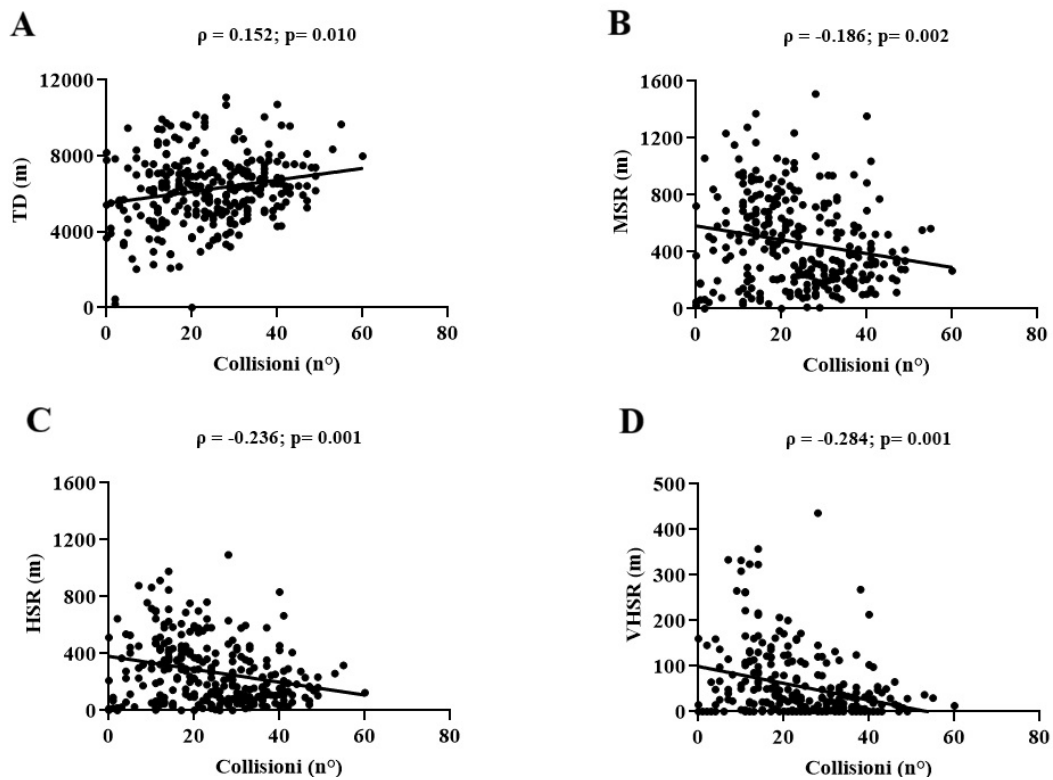


Figura 4: Correlazioni tra il numero di collisioni e (A) distanza totale (TD), (B) distanza a velocità media (MSR), (C) distanza ad alta velocità (HSR) e (D) distanza a velocità molto elevata (VLSR).

Modelli di Regressione Lineare

Modello 1 - Carico esterno cinematico

Il modello di regressione basato esclusivamente sulle variabili di carico esterno è risultato statisticamente significativo ($F(5, 278) = 23.34$; $p < 0.001$), spiegando il 29.6% della varianza totale del numero di collisioni ($R^2 = 0.296$; $R^2 \text{ adj} = 0.283$).

L'equazione di regressione stimata è la seguente:

$$\text{Collisioni} = 9.190 + 0.001 \cdot \text{TD} - 0.003 \cdot \text{MSR} - 0.024 \cdot \text{HSR} - 0.014 \cdot \text{VHSR} + 0.008 \cdot \text{Acc}$$

A livello di singoli predittori, solo le accelerazioni hanno mantenuto un effetto statisticamente significativo ($t = 2.222$; $p = 0.027$), suggerendo che le variazioni di velocità rappresentano il principale determinante cinematico associato agli impatti.

Modello 2 - Inserimento del fattore Ruolo

L'introduzione della variabile categoriale Ruolo_ID ha determinato un incremento significativo della capacità esplicativa del modello ($F(6, 277) = 27.54$; $p < 0.001$), portando la varianza spiegata al 37.4% ($R^2 = 0.374$; $R^2 \text{ adj} = 0.360$). L'equazione del modello completo è risultata:

$\text{Collisioni} = 14.534 + 0.001 \cdot \text{TD} - 0.018 \cdot \text{MSR} - 0.025 \cdot \text{HSR} - 0.024 \cdot \text{VHSR} + 0.008 \cdot \text{Acc} - 1.389 \cdot \text{Ruolo_ID}$

All'interno del modello, la variabile Ruolo_ID ha mostrato un effetto negativo altamente significativo ($t = -5.871$; $p < 0.001$), risultando il predittore più incisivo. Anche le accelerazioni hanno mantenuto un contributo significativo ($t = 2.429$; $p = 0.016$), confermando la rilevanza della componente neuromuscolare nel determinare l'esposizione al contatto.

Variabile	Modello 1 β	p	Modello 2 β	p
Intercetta	9.190	–	14.534	–
TD	0.001	ns	0.001	ns
MSR	-0.003	ns	-0.018	ns
HSR	-0.024	ns	-0.025	ns
VHSR	-0.014	ns	-0.024	ns
Accelerazioni	0.008	0.027	0.008	0.016
Ruolo	–	–	-1.389	<0.001
R^2	0.296		0.374	
R^2 aggiustato	0.283		0.360	
F	23.34		27.54	
p del modello	<0.001		<0.001	

Tabella 1: Risultati dei modelli di regressione lineare multipla utilizzati per valutare l'associazione tra il numero di collisioni e le variabili di carico esterno. Il Modello 1 include esclusivamente i parametri cinematici, mentre il Modello 2 comprende anche la variabile Ruolo. Sono riportati i coefficienti di regressione (β), i livelli di significatività (p) e gli indici di adattamento del modello

General Linear Model e MANOVA

Nel campione complessivo, il numero medio di collisioni è risultato pari a 23.99 ± 12.33 per partita, evidenziando tuttavia un'elevata eterogeneità interindividuale in funzione del ruolo di gioco.

L'analisi multivariata ha evidenziato un effetto principale del Ruolo altamente significativo sulle variabili del carico esterno (Λ di Wilks = 0.085; $F(54, 1318.5) = 15.81$; $p < 0.001$), indicando differenze sostanziali nei profili di richiesta fisica tra le posizioni, nonostante la violazione dell'assunzione di omogeneità delle matrici di covarianza (Box's M = 728.98; $F = 3.45$; $p < 0.001$), condizione frequentemente osservata in contesti sportivi ecologici.

Le analisi univariate hanno confermato effetti significativi del ruolo su MSR ($F = 5.38$; $p < 0.001$), HSR ($F = 7.25$; $p < 0.001$) e VHSR ($F = 16.49$; $p < 0.001$), mentre per le collisioni è emersa una tendenza alla significatività ($F = 1.76$; $p = 0.073$), suggerendo una parziale ma non esclusiva dipendenza del contatto fisico dal ruolo.

Le analisi post-hoc con correzione di Bonferroni hanno evidenziato una chiara dicotomia tra avanti (forwards) e trequarti (backs). I giocatori di terza linea (31.32 ± 11.59), seconda linea (31.05 ± 12.19) e tallonatore (29.63 ± 13.33) hanno registrato i valori più elevati di collisioni. Al contrario, i ruoli di linea arretrata, in particolare ala (14.38 ± 6.96 collisioni) ed estremo (14.42 ± 9.41 collisioni), hanno mostrato una significativa riduzione degli impatti, associata però a richieste locomotorie elevate, con volumi di corsa ad alta e altissima velocità sostanzialmente superiori rispetto ai ruoli di mischia.

Analisi	Variabile/Effetto	Statistica	Valore	<i>p</i>
MANOVA	Effetto del ruolo	Wilks' Λ	0.085	<0.001
		$F(54, 1318.5)$	15.81	
	Omogeneità delle matrici di covarianza	Box's M	728.98	<0.001
		F	3.45	
GLM univariato	MSR	F	5.38	<0.001
	HSR	F	7.25	<0.001
	VHSR	F	16.49	<0.001
	Collisioni	F	1.76	0.073
Post-hoc (Bonferroni)	Terza linea	Media $\pm$ DS	31.32 $\pm$ 11.59	—
	Seconda linea	Media $\pm$ DS	31.05 $\pm$ 12.19	—
	Tallonatore	Media $\pm$ DS	29.63 $\pm$ 13.33	—
	Ala	Media $\pm$ DS	14.38 $\pm$ 6.96	—
	Estremo	Media $\pm$ DS	14.42 $\pm$ 9.41	—

Tabella 2. Risultati della MANOVA, delle analisi univariate (GLM) e dei confronti post-hoc per il ruolo di gioco.

4. Discussione

Questo studio si proponeva di analizzare il carico esterno espresso da atleti di rugby union professionistico in competizione ufficiale, guardando in particolare alle differenze fra i ruoli e al rapporto fra collisioni e variabili locomotorie e meccaniche rilevate via GPS. Lavorando su 285 osservazioni raccolte nelle gare delle Zebre Parma nella stagione 2024-2025, è stato possibile descrivere il profilo di carico del match-play e capire meglio quanto la componente di contatto pesi sulle richieste fisiche complessive.

Le correlazioni restituiscono un quadro coerente con la natura intermittente e fortemente posizionale del rugby. La distanza totale si lega positivamente, anche se in modo debole, al numero di collisioni: chi accumula più volume locomotorio tende a essere un po' più esposto al contatto. Le distanze ad alta intensità (MSR, HSR e VHSR) vanno invece nella direzione opposta, correlando negativamente con le collisioni; in altre parole, chi corre molto a velocità elevate si scontra di meno. È il riflesso della classica divisione di compiti del rugby, dove i ruoli più votati alla corsa veloce — i tre quarti — sono anche i meno coinvolti nel gioco di contatto rispetto agli avanti (Cunniffe et al., 2009; Austin et al., 2011). Merita attenzione, infine, la correlazione positiva fra accelerazioni e collisioni: le rapide variazioni di velocità, espressione della componente esplosiva e neuromuscolare del gioco, sembrano funzionare come una traccia indiretta dell'esposizione al contatto, in linea con quanto la letteratura riconosce alle accelerazioni quali indicatori di carico meccanico (Boyd et al., 2011; McLellan & Lovell, 2013).

La regressione lineare ha precisato meglio questo quadro. Il modello basato sulle sole variabili locomotorie e meccaniche (Modello 1) spiega circa il 30% della varianza delle collisioni, e tra i predittori soltanto le accelerazioni risultano significative. Il dato dice qualcosa di interessante: le metriche di corsa descrivono bene una parte delle richieste della prestazione, ma colgono

solo in parte il fenomeno del contatto, che evidentemente ha una sua specificità e non si lascia ridurre al profilo locomotorio. Quando al modello si aggiunge il ruolo (Modello 2), la varianza spiegata sale a circa il 37% e il ruolo diventa il predittore di gran lunga più importante. Questo salto indica che il ruolo porta con sé un'informazione che le variabili GPS, da sole, non contengono: le collisioni dipendono in misura rilevante dalla funzione tattica ricoperta in campo, più che dal solo volume o dall'intensità della corsa (Jones et al., 2015).

L'analisi multivariata ha confermato un effetto del ruolo molto marcato sui profili di carico esterno, coerente con la forte eterogeneità prestativa del rugby. Le circa 24 ± 12 collisioni medie per gara nascondono una grande variabilità fra i giocatori e una netta separazione tra avanti e tre quarti. I ruoli di mischia — terza linea, seconda linea e tallonatore — collezionano i valori più alti di impatti, com'è logico aspettarsi dato il loro coinvolgimento prioritario nei contatti, nei ruck e nelle fasi statiche. I ruoli della linea arretrata, soprattutto ali ed estremi, fanno registrare molti meno impatti, ma in cambio percorrono distanze ad alta e altissima velocità nettamente superiori. È il segno della complementarità fra i reparti e una buona ragione per monitorare e programmare in modo distinto a seconda del ruolo (Cunniffe et al., 2009; Austin et al., 2011; Reardon et al., 2017).

Va però sottolineato un aspetto. Se per le variabili locomotorie ad alta intensità le differenze fra ruoli sono nette, per il numero di collisioni si è raggiunta soltanto una tendenza alla significatività. L'esposizione al contatto, insomma, è influenzata dal ruolo ma non ne dipende in modo esclusivo. Possono concorrere fattori legati al contesto — il sistema di gioco, l'andamento del punteggio, l'avversario — così come l'evoluzione del rugby moderno, in cui anche alcuni tre quarti e i mediani sono ormai molto coinvolti nelle fasi di contatto, attenuando la rigidità della vecchia suddivisione posizionale. È plausibile, inoltre, che abbiano inciso la forte variabilità interna a ciascun ruolo e la diversa numerosità dei sottogruppi.

Sul piano pratico, da questi risultati si ricavano indicazioni concrete. Il fatto che le accelerazioni siano il principale correlato cinematico delle collisioni suggerisce di usarle come indicatore indiretto dell'esposizione al contatto, utile soprattutto quando la validazione video degli impatti non è disponibile o richiede troppo tempo. La forte differenziazione per ruolo, dal canto suo, rafforza l'idea di costruire carichi di allenamento, strategie di recupero e protocolli di prevenzione su misura per ciascuna posizione, nella logica della gestione del carico finalizzata a ridurre il rischio di infortunio (Gabbett, 2016).

I risultati vanno comunque letti tenendo presenti alcuni limiti. Lo studio ha riguardato una sola franchigia, e questo ne riduce la generalizzabilità ad altri contesti e campionati. I dati provengono inoltre dalle sole gare ufficiali, senza gli allenamenti, e descrivono soltanto il carico esterno: l'assenza di indicatori di carico interno (frequenza cardiaca, RPE) avrebbe permesso una lettura più completa della risposta individuale (Impellizzeri et al., 2005; Halson, 2014). Le collisioni, pur validate con il video, risentono dei noti limiti di accuratezza dei sistemi di rilevamento automatico (Reardon et al., 2017). Sul piano statistico, la violazione dell'omogeneità delle matrici di covarianza (test M di Box) e la numerosità disomogenea dei gruppi invitano alla prudenza, anche se sono condizioni ricorrenti negli studi sul campo. Infine, la natura osservazionale del disegno non consente di stabilire rapporti di causa-effetto.

Gli sviluppi futuri potranno allargare il campione a più squadre e campionati, integrare carico interno ed esterno, seguire l'andamento del carico nelle diverse fasi della stagione e tenere conto delle variabili di contesto della gara. Approcci modellistici più raffinati, inoltre, potrebbero aiutare a definire soglie e profili di carico individualizzati, migliorando la stima dell'esposizione al contatto e supportando in modo sempre più mirato le scelte dello staff tecnico.

5. Conclusioni

Questo studio osservazionale ha permesso di descrivere il profilo di carico esterno di atleti di rugby union professionistico in competizione ufficiale, mostrando quanto componente locomotoria e componente di contatto siano intrecciate e quanto il ruolo di gioco sia centrale nel definire le richieste fisiche della prestazione.

I risultati principali si possono riassumere in tre punti. Le accelerazioni sono il principale correlato cinematico del numero di collisioni e si candidano a indicatore indiretto dell'esposizione al contatto. Le distanze percorse ad alta e altissima velocità, al contrario, si associano in modo inverso alle collisioni, a conferma della divisione di compiti fra avanti e tre quarti. Il ruolo, infine, è il fattore che più di ogni altro spiega le differenze nel profilo di carico, e aggiunge capacità esplicativa rispetto alle sole variabili locomotorie: gli avanti, e in particolare i ruoli di mischia, sono i più esposti al contatto, mentre i tre quarti si distinguono per le maggiori richieste di corsa ad alta intensità.

Nel complesso, i dati ribadiscono l'importanza di un monitoraggio del carico esterno specifico per ruolo e l'utilità di affiancare alle metriche locomotorie degli indicatori della componente neuromuscolare e di contatto. Sono evidenze che possono offrire un supporto concreto alla programmazione dell'allenamento, alla gestione del recupero e alla prevenzione degli infortuni nel rugby professionistico, fornendo allo staff tecnico strumenti oggettivi per calibrare i carichi sulle esigenze di ogni reparto.

6. Bibliografia

- Austin, D., Gabbett, T., & Jenkins, D. (2011). The physical demands of Super 14 rugby union. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(3), 259–263.
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 311–322.
- Cahill, N., Lamb, K., Worsfold, P., Headey, R., & Murray, S. (2013). The movement characteristics of English Premiership rugby union players. *Journal of Sports Sciences*, 31(3), 229–237.
- Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports. *Sports Medicine*, 43(10), 1025–1042.
- Cunniffe, B., Proctor, W., Baker, J. S., & Davies, B. (2009). An evaluation of the physiological demands of elite rugby union using GPS tracking software. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1195–1203.
- Duthie, G., Pyne, D., & Hooper, S. (2003). Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports Medicine*, 33(13), 973–991.
- Gabbett, T. J. (2012). The development of a test of repeated-sprint ability for elite women's soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1672–1678.
- Gabbett, T. J. (2016). The training–injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(S2), 139–147.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., & Marcora, S. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 583–592.
- Johnston, R. J., Watsford, M. L., Kelly, S. J., Pine, M. J., & Spurrs, R. W. (2014). Validity and interunit reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS units for assessing athlete movement demands. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 743–748.
- Jones, M. R., West, D. J., Crewther, B. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2015). Quantifying positional and temporal movement patterns in professional rugby union. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(4), 504–510.
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). Performance analysis of elite rugby league match play using global positioning systems. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1263–1269.
- McLellan, C. P., & Lovell, D. I. (2013). Neuromuscular responses to impact and collision during elite rugby union match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1431–1440.
- Quarrie, K. L., & Hopkins, W. G. (2007). Changes in player characteristics and match activities in elite rugby union. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(10), 1821–1827.
- Reardon, C., Tobin, D. P., Tierney, P., & Delahunt, E. (2017). The worst case scenario: locomotor and collision demands of professional rugby union match-play. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1113–1119.

Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., & de Jonge, X. A. J. (2016). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *Sports Medicine*, 46(5), 701–716.

Ringraziamenti

Innanzitutto, vorrei ringraziare il Prof. Panasci per tutto il lavoro svolto su e per questa tesi, per i suoi preziosi insegnamenti sia dentro che fuori dall'aula universitaria, spero di portarli sempre con me durante la mia vita e carriera professionale.

Un doveroso ringraziamento va ai miei genitori e alla mia famiglia, che hanno sostenuto e spinto il mio percorso universitario sin dall'inizio, insieme a loro è ormai consuetudine ringraziare Naichi, una gatta tanto solitaria quanto essenziale.

Ringrazio i miei compagni di corso, con cui ho condiviso questi anni di studio, game over.

Vorrei ringraziare i rangers che sono da sempre una presenza rumorosa nella mia vita e nella mia quotidianità (i prossimi ringraziamenti probabilmente li scriverò per millemani).

Voglio ringraziare i miei amici e compagni di una vita, Andre, Bodo, Chiara, Deddy, Emma, Filo, Gio, Luca, Maria, Nico, Pietro e Virgi, probabilmente se sono qui da così tanto tempo un motivo ci sarà, non è mio solito dirvelo ma vi voglio bene, è giusto che lo sappiate.

Un grazie va in particolare anche alle mie due Serpi, Gio e Virgi, due sorelle uniche che fanno sempre come starmi vicino anche quando non siamo insieme. Sono fortunato ad avere persone come voi al mio fianco. Vi voglio bene <3

Un grazie a tutti coloro che hanno reso possibile questa tesi, a Paolo che mi ha fatto scoprire il rugby, uno stile di vita stupendo che ti vende emozioni uniche al costo della tua salute, soprattutto quella fisica. Un grazie a chi mi ha accompagnato e istruito in campo, ha fatto nascere in me una passione di cui avevo bisogno.

Voglio forse per la prima volta ringraziare anche me e la mia continua procrastinazione che quantomeno mi ha portato a tagliare questo traguardo, ad maiora!