

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**ANALISI CINEMATICA E DINAMICA DELLA CORSA NELLA  
FASE LANCIATA IN VELOCISTI DELL'ATLETICA LEGGERA**

Relatore: Prof. Marcolin Giuseppe

Laureando: Ling Wei Lei

N° di matricola: 2047751

Anno Accademico 2023/2024

## **Indice**

<b>Abstract</b>	2
<b>Introduzione</b>	2
<b>Materiali e metodi</b>	3
Partecipanti	3
Strumentazione	4
Protocollo sperimentale	6
Protocollo delle prove	7
<b>Analisi dati</b>	8
Tracking (labeling) e interpolazione tracce	8
<b>Analisi statistica</b>	12
<b>Risultati</b>	12
<b>Discussione</b>	16
<b>References</b>	18

## **Abstract**

In questo studio sono state analizzate la cinematica e la dinamica della corsa lanciata utilizzando 2 diverse condizioni. Nella prima, l'atleta ha utilizzato la sua falcata naturale mentre nella seconda l'ampiezza della falcata è stata modificata in base a dei coefficienti calcolati sulle misure antropometriche. L'obiettivo dello studio è di identificare eventuali parametri cinematici o dinamici della corsa lanciata in grado di determinare la performance dell'atleta. Inoltre, di esplorare delle correlazioni tra i parametri cinematici e cinetici considerando. Per le analisi sono stati utilizzati un sistema stereofotogrammetrico e delle piattaforme di forza presenti all'interno del Palaindoor di Padova. L'analisi statistica è stata effettuata tramite la regressione lineare multipla e t-test, i parametri più significativi che spiegano la variabilità del tempo di corsa nei 20 metri lanciati analizzati (dai 30 ai 50 metri) sono: impulso orizzontale ( $p=0,042$ ), impulso frenante( $p=0,028$ ), impulso propulsivo ( $0,028$ ), hip displacement ( $p=0,005$ ), tempo di contatto ( $p=0,005$ ) e tempo di volo ( $p=0,045$ ). Il t-test ha evidenziato differenze significative nel tempo impiegato a correre i 20 metri lanciati e nella durata del tempo di contatto. Non è stata evidenziata nessuna correlazione significativa tra parametri cinematici e dinamici. Tuttavia, i parametri dinamici presentavano in generale una maggior variabilità rispetto a quella registrata nei parametri cinematici. In conclusione, questo studio sembra evidenziare una maggiore importanza dei parametri dinamici rispetto a quelli cinematici nello spiegare la prestazione nella corsa lanciata. I risultati sembrano suggerire quindi una maggior rilevanza delle metodiche di allenamento della forza per gli atleti élite, volti a migliorare la capacità neuromuscolare per sviluppare elevati livelli di forza nel minor tempo possibile, rispetto agli allenamenti finalizzati al perfezionamento della tecnica di corsa.

## **Introduzione**

La performance dei 100 metri piani può essere divisa in 4 fasi fondamentali: partenza dai blocchi, accelerazione, massima velocità e fase di mantenimento. La partenza dai blocchi è una componente cruciale dello sprint, poiché deve consentire all'atleta di raggiungere la sua massima velocità nel minor tempo possibile. La regolazione del blocco di partenza dipende dalle misure antropometriche, infatti, il posizionamento dei blocchi anteriore e posteriore dipenderanno dal rapporto tra i vari segmenti corporei [6]. Le componenti più importanti in questa fase sono la forza orizzontale generata sul centro di massa; infatti, a parità di forza complessiva, gli sprinter élite generano più forza orizzontale rispetto ai non élite [5] e gli angoli con cui viene trasmesso la forza al terreno [4]. Oltre a questi ci sono altri parametri che possono influenzare in modo significativo la prestazione sono:

velocità orizzontale, velocità verticale, lunghezza del passo da destro al destro, frequenza dei passi, tempo di contatto a terra e tempo di volo. La fase lanciata è decisiva per la prestazione finale e consiste nel raggiungimento e mantenimento della massima velocità il più a lungo possibile cercando di ritardare la comparsa di fenomeni di fatica neuromuscolare attraverso il miglioramento dell'efficienza del gesto tecnico. Le principali variabili spaziali e temporali da analizzare sono: velocità orizzontale, velocità verticale, lunghezza del passo, frequenza del passo, tempo di contatto a terra e tempo di volo. Le variabili cinematiche che abbiamo analizzato sono: angolo di spinta durante lo stacco del piede, angolo di sostegno, angolo della caviglia, angolo della tibia con l'asse verticale, angolo della coscia con l'asse orizzontale e le velocità angolari di flessione-estensione della coscia. Si ipotizza che questi parametri siano elementi chiave per lo studio della performance ([3] chapter 9). Le variabili della cinetica analizzate sono le forze di reazione al suolo e gli impulsi. Lo scopo di questo studio è analizzare la cinematica e la dinamica durante la corsa lanciata. Sono state utilizzate le misure antropometriche dei soggetti, moltiplicate per specifici coefficienti sviluppati dagli allenatori professionisti Rana Rider e Randy Huntington, sulla base della loro vasta esperienza con numerosi atleti da loro allenati, per determinare una "falcata ideale" di ciascun atleta. Attualmente, non esistono studi che confermino o smentiscano l'efficacia di tali misure sulla performance finale rispetto alla corsa naturalmente scelta dall'atleta. Inoltre, si è indagato quali possano essere le variabili cinematiche e dinamiche più significative per spiegare la performance sui venti metri di corsa lanciata.

## Materiali e metodi

### Partecipanti

Un gruppo omogeneo di 22 atleti specializzati nelle discipline della velocità ( $\leq 400\text{m}$ ; età 17-35 anni; personale nei 100m: 9,97-12,00 per i maschi e 10,90-13 per le donne) ha partecipato allo studio dopo aver firmato il consenso informato. Il gruppo è formato da 18 maschi e 4 donne, ma lo studio si è concentrato principalmente sugli uomini. Lo studio è stato approvato dal comitato etico del Dipartimento di Scienze Biomediche dell'Università di Padova. Lo studio è parte del progetto ProOlympia di cui il prof. Petrone è il responsabile per l'Università di Padova e l'ing. Cutti per INAIL.

18 partecipanti	Age	Weight(Kg)	Leg-Lenght(m)	PB 100m(s)	IAAF Score
Mean	21,72	73,41	0,91	11,05	887
SD	3,86	7,77	0,05	0,41	130

## Strumentazione

La cinematica è stata acquisita utilizzando un sistema di Motion Capture composto da dieci telecamere a infrarossi Vicon Valkyrie (Vicon Motion Systems, Oxford, Regno Unito), operanti a una frequenza di acquisizione di 240 Hz, montate su un portale rettangolare di 17 m x 9 m. Inoltre, sono state impiegate due telecamere video FLIR Blackfly S (Vicon Motion Systems, Oxford, Regno Unito) ciascuna con una risoluzione di 2,3 Megapixel e una frequenza di acquisizione di 48 Hz.



Figura 1. Visione d'insieme del portale con le telecamere ad esso fissate. In basso dettaglio di una delle camere optoelettroniche (sulla sinistra) e di una delle videocamere digitali (sulla destra).

Le forze di spinta al suolo degli atleti sono state misurate utilizzando 9 piattaforme di forza AMTI OR6 Series (A-Tech Instruments Ltd.) ad una frequenza di acquisizione di 2160 Hz. Sette di queste misurano 60 x 90 cm e due 40 x 60 cm, tutte posizionate a filo terreno e rivestite da uno strato di tartan.

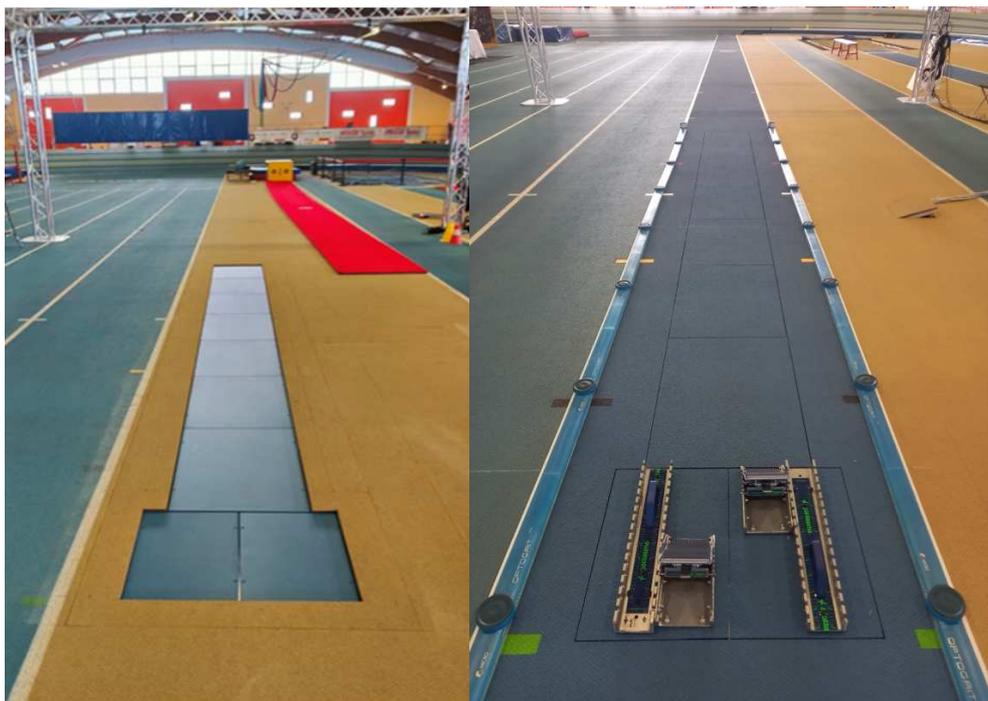


Figura 2. Pedane di forza impiegate nello studio.

Sono state utilizzate tre fotocellule Witty (Microgate Srl. Bolzano, IT), posizionate ai 30m, 40m e 50m, per monitorare la velocità degli atleti nel passaggio all'interno del volume di calibrazione.



Figura 3. Fotocellule Witty.

Per la preparazione del soggetto sono stati infine utilizzati una matita colorata ad acqua per contrassegnare i punti di repere anatomico di interesse, 22marker passivi riflettenti applicati mediante nastro biadesivo, kinesiotape e spray adesivo (Figura 4).



Fig. 4. Da sinistra verso destra: marker passivi riflettenti, spray adesivo, matita ad acqua, kinesio tape e nastro biadesivo.

## Protocollo sperimentale

Lo studio è stato condotto presso il Palaindoor di Padova, struttura coperta omologata dalla federazione italiana di atletica leggera, nella corsia 9 lunga 60 metri, appositamente costruita per l'analisi cinematica e dinamica di atleti come obiettivo integrante del progetto PR19-PAI-P4 "OLYMPIA" - Nuove tecnologie al servizio dell'atleta paralimpico. La partecipazione allo studio comportava l'accesso alla struttura in due sessioni differenti, una per le prove delle partenze dai blocchi ed una per l'acquisizione delle prove di corsa lanciata. Il presente lavoro di tesi si concentrerà sulla sessione di corsa lanciata. Prima di ogni sessione, veniva eseguita la calibrazione delle telecamere optoelettroniche con uno strumento di calibrazione con dimensioni note (wand) per eliminare gli errori delle lenti e definire il volume di acquisizione. Seguiva la calibrazione delle pedane dinamometriche per definire la loro posizione all'interno del volume di calibrazione.



Figura 5. Verifica della calibrazione di una pedana di forza.

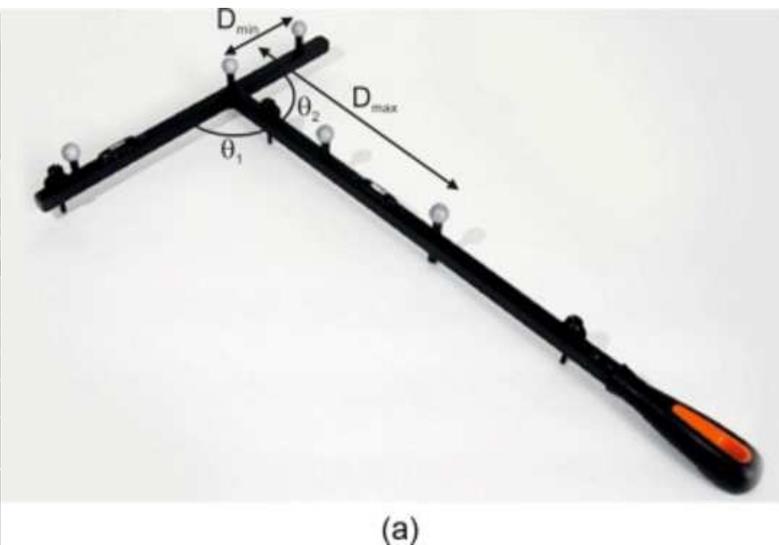


Figura 6. Wand impiegata per la calibrazione delle camere optoelettroniche

Ad ogni soggetto, per ogni sessione, veniva chiesto di rimanere a torso nudo o con una canotta attillata, e di indossare solamente pantaloncini corti attillati così che da facilitare l'applicazione dei

marcatori sferici utilizzando lo spray biadesivo e nastro tape nei punti di repere anatomico. Il markerset utilizzato era costituito da 22 marker posizionati su specifici punti di repere anatomico, per ridurre l'errore inter e intra-individuale e inter e intra-sessione. I marker venivano applicati prima del riscaldamento dell'atleta.



Figura 7. Markerset utilizzato nell'analisi della cinematica del lanciato.

Il riscaldamento era di 45 min ed era gestito da ciascun atleta in modo personalizzato.

## **Protocollo delle prove**

Le prove di corsa lanciata consistevano in quattro corse massimali, suddivise in due condizioni:

- Nella Condizione A l'atleta correva due prove massimali senza restrizioni o feedback da parte dello sperimentatore. Al termine si calcolava il semipasso da utilizzare come comparazione nella Condizione B.
- Nella Condizione B lo sperimentatore posizionava sui 20 metri di interesse dei cinesini ad una distanza equivalente alla distanza dal gran trocantere da terra moltiplicata per il coefficiente di 2.40. Veniva fornito un feedback orale all'atleta sulla variazione della modalità di corsa (corsa più in ampiezza o in frequenza) rispetto alla lunghezza del semipasso misurata nella Condizione A.

Il recupero tra le prove era di 6 minuti mentre tra le 2 condizioni 8 minuti.

## Analisi dati

### Tracking (labeling) e interpolazione tracce

I dati sono stati raccolti utilizzando il software Nexus (Vicon Motion Systems, Oxford, Regno Unito), che ha permesso di sincronizzare i dati ottenuti dalle telecamere a infrarossi e dalle piattaforme di forza. Questa sincronizzazione ha permesso un'analisi accurata del movimento e delle forze generate dagli atleti durante le prove. Con il software stato eseguito il “labelling” ossia l’assegnazione a ciascun marker del nome del punto di repere anatomico rappresentato.

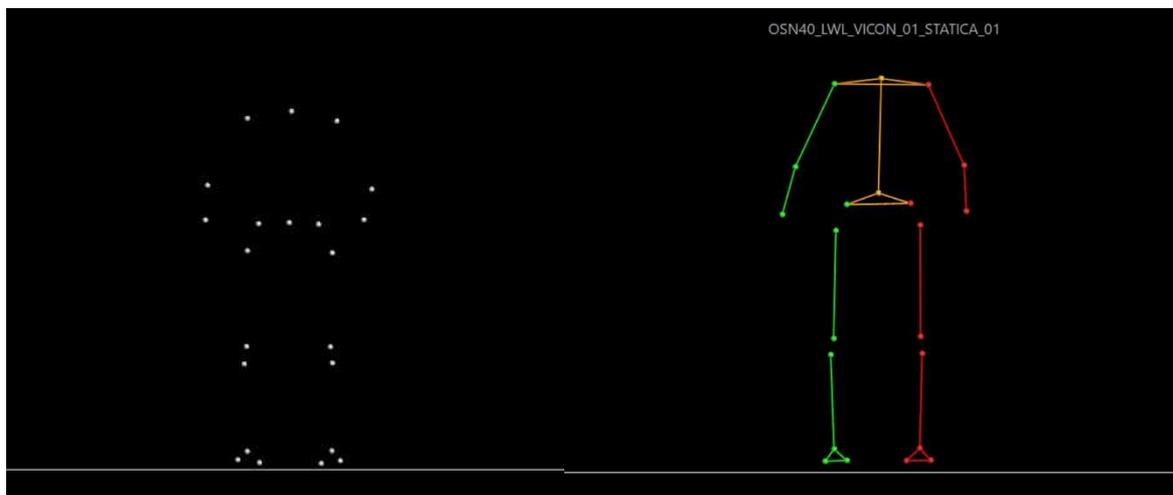


Figura 8. Frame di un file prima del labelling.

Figura 9. Frame di un file dopo il labelling

Se qualche marker non veniva acquisito per alcuni frame, veniva eseguita un’interpolazione della traiettoria, detta “gap filling”.

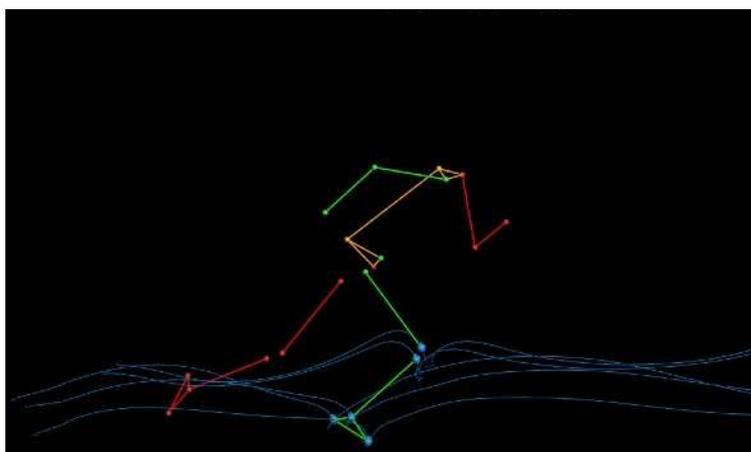
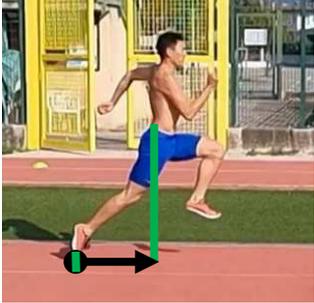
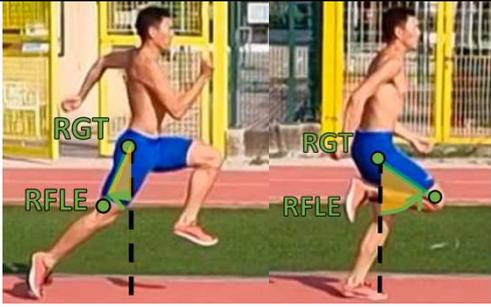
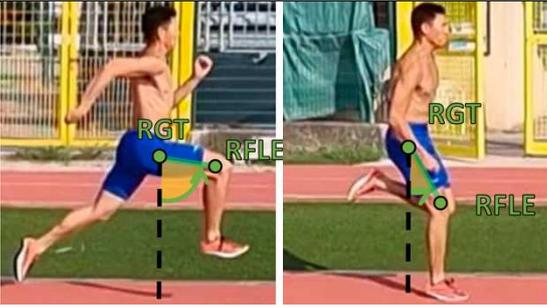
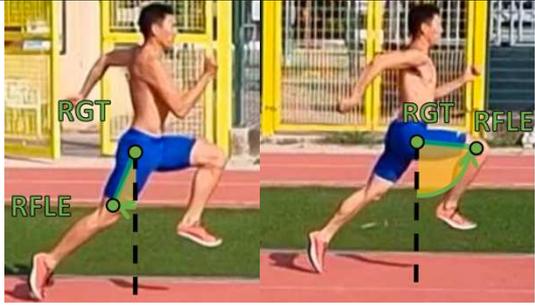


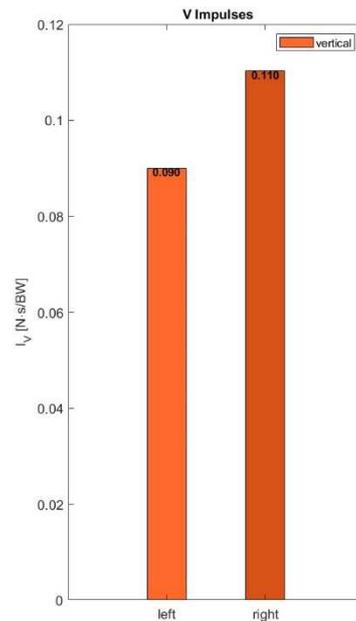
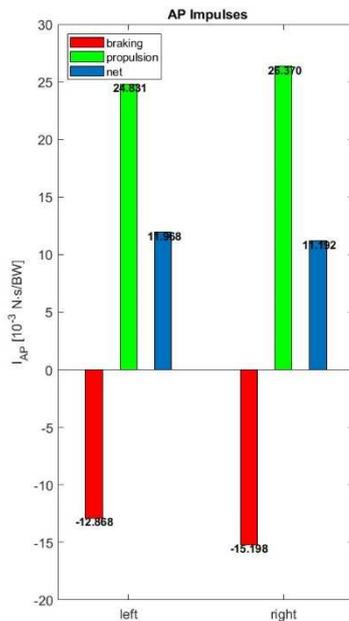
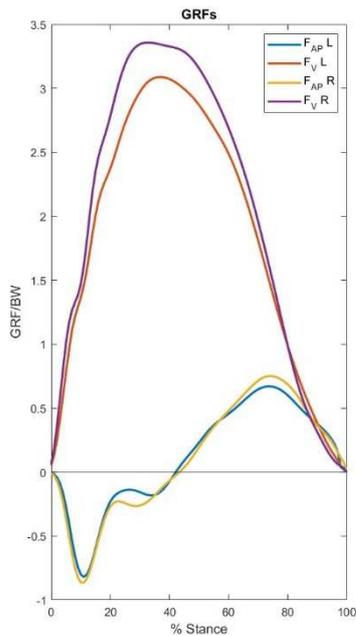
Figura 10. Traiettorie dei Marker.

I dati così ricostruiti venivano salvati in file .c3d e successivamente importati nell'applicazione SMARTAnalyzer (BTS Bioengineering, Milano, Italia) per essere elaborati mediante un apposito protocollo di analisi. In particolare, si individuavano gli istanti di appoggio a terra del piede e di stacco della punta per poi determinare tutti i parametri cinematici (Figura XX) e dinamici (Figura XX) di interesse:

	<p style="text-align: center;"><b>Tempo di Contatto</b></p> <p>Il tempo che intercorre tra l'appoggio del piede al suolo ed il successivo distacco.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Tempo di Volo</b></p> <p>Il tempo che intercorre tra il distacco del piede omolaterale e l'appoggio del piede controlaterale, durante il quale nessuno dei due piedi tocca il suolo.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Step Length</b></p> <p>La distanza orizzontale tra il punto di contatto di un piede a terra e il punto di contatto a terra del piede successivo. (normalizzato sulla lunghezza GT-Terra)</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Stride Length</b></p> <p>La distanza orizzontale tra il punto di contatto di un piede a terra e il successivo punto di contatto a terra dello stesso piede. (normalizzato sulla lunghezza GT-Terra)</p>

	<p style="text-align: center;"><b>Hip Displacement</b></p> <p>La distanza tra il marker del quinto metatarso nell'istante prima del distacco del piede e la proiezione a terra del marker posizionato sul gran trocantere omolaterale.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Pelvis COM excursion</b></p> <p>La variazione verticale massima del COM* durante lo sprint (differenza tra i valori massimi e minimi).</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Push Angle</b></p> <p>L'angolo tra il suolo ed il vettore che collega il grande trocantere e il malleolo laterale durante la Toe Off.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Thigh to Horizontal Angle</b></p> <p>L'angolo tra l'asse orizzontale e l'asse della coscia della gamba in volo quando la coscia raggiunge la sua massima altezza.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Shank to Vertical Angle</b></p> <p>L'angolo tra l'asse verticale e la tibia quando la coscia raggiunge la sua massima altezza.</p>

	<h3>TAV Early Flexion</h3> <p>È l'angolo del segmento GT-FLE dal "Foot Off" di una gamba al "Mid Stance" della gamba opposta. È stato espresso anche come tempo impiegato a percorrerlo e come velocità angolare.</p>
	<h3>TAV Early Extension</h3> <p>È l'angolo del segmento GT-LFE dal "Knee Max High" al "Foot Strike". È stato espresso anche come tempo impiegato a percorrerlo e come velocità angolare.</p>
	<h3>TAV Full Flexion</h3> <p>È l'angolo del segmento GT-LFE dal "Foot Off" al "Knee Max High". È stato espresso anche come tempo impiegato a percorrerlo e come velocità angolare.</p>



<b>Impulse_vertical_mean</b>	È l'integrale della forza verticale.
<b>Impulse_propulsive_mean</b>	È l'integrale della forza orizzontale.
<b>Impulse_braking_mean</b>	È l'integrale della forza frenante.
<b>Impulse_horizontal_mean</b>	È ricavata dalla differenza tra IPM e IHM.
<b>maxGRF_vertical_mean</b>	Picco di forza della componente verticale.
<b>maxGRF_horizontal_mean</b>	Picco di forza della componente orizzontale.

Tutti i parametri cinematici e cinetici sono stati mediati, senza considerare la differenza tra arto destro e sinistro per ciascuna delle due condizioni di prova. I parametri spaziali sono stati normalizzati rispetto alla distanza dal gran trocantere a terra, mentre i parametri dinamici sono stati normalizzati rispetto al peso di ciascun atleta.

## **Analisi Statistica**

In questo studio è stato utilizzato l'applicazione "JASP", per eseguire la regressione lineare multipla che è un metodo statistico utilizzato per studiare la relazione tra una variabile dipendente e più variabili indipendenti. È stato inoltre utilizzato la correlazione di Pearson che è un'analisi che quantifica la forza e la direzione della relazione lineare tra due variabili continue. Infine, il t-test è stato utilizzato per comparare i valori dei parametri nel confronto della condizione A e B.

## **Risultati**

Inizialmente abbiamo raggruppato i parametri in 4 gruppi: temporale, spaziale, cinematico e cinetico. Per ogni gruppo abbiamo eseguito la regressione lineare multipla per valutare se ciascuno dei gruppi spiegasse la variabilità del tempo registrato nei 20 metri e se questa regressione fosse statisticamente significativa ( $p < 0.005$ ). Il gruppo dei parametri temporali ha spiegato il 15,4 % della variabilità del tempo sui 20 metri ma senza raggiungere alcuna significatività statistica (tabella 1).

Model Summary – Time\_flying\_20mt

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	0.077
H <sub>1</sub>	0.393	0.154	-0.198	0.085

ANOVA ▼

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	0.016	5	0.003	0.438	0.814
	Residual	0.086	12	0.007		
	Total	0.102	17			

Note. The intercept model is omitted, as no meaningful information can be shown.

Coefficients

Model		Unstandardized	Standard Error	Standardized	t	p	95% CI	
							Lower	Upper
H <sub>0</sub>	(Intercept)	2.024	0.018		111.059	< .001	1.985	2.062
H <sub>1</sub>	(Intercept)	1.453	0.588		2.471	0.029	0.172	2.735
	Contact_Time_Mean	2.127	4.421	0.198	0.481	0.639	-7.506	11.761
	Flight_Time_Mean	-3.781	9.225	-0.875	-0.410	0.689	-23.881	16.319
	TAV_EarlyFlex_time_Mean	-0.333	10.502	-0.034	-0.032	0.975	-23.214	22.548
	TAV_FullFlex_time_Mean	5.620	9.307	0.814	0.604	0.557	-14.658	25.898
	TAVEarlyExt_time_Mean	3.808	9.038	0.512	0.421	0.681	-15.883	23.500

Tabella 1

Il gruppo dei parametri spaziali ha spiegato il 23,5% della variabilità della performance sui 20 metri ma senza raggiungere alcuna significatività statistica (tabella 2).

Model Summary – Time\_flying\_20mt

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	0.077
H <sub>1</sub>	0.485	0.235	0.000	0.077

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	0.024	4	0.006	1.000	0.442
	Residual	0.078	13	0.006		
	Total	0.102	17			

Note. The intercept model is omitted, as no meaningful information can be shown.

Coefficients

Model		Unstandardized	Standard Error	Standardized	t	p	95% CI	
							Lower	Upper
H <sub>0</sub>	(Intercept)	2.024	0.018		111.059	< .001	1.985	2.062
H <sub>1</sub>	(Intercept)	3.307	0.773		4.276	< .001	1.636	4.977
	Y_Pelvis_COM_Excursion_Mean	-2.248	1.660	-0.348	-1.354	0.199	-5.834	1.338
	HIP_Displacement_Mean	-0.647	0.531	-0.346	-1.217	0.245	-1.795	0.501
	Step_length_mean_NORM	1.591	1.752	1.956	0.908	0.380	-2.194	5.376
	Stride_Length_mean_NORM	-0.964	0.891	-2.360	-1.082	0.299	-2.889	0.961

Tabella 2

Anche il gruppo di parametri cinematici, pur spiegando il 30 % delle variabilità della prestazione sui 20 metri non ha raggiunto alcuna significatività statistica (tabella 3).

Model Summary - Time\_flying\_20mt

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	0.077
H <sub>1</sub>	0.554	0.307	-0.310	0.088

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	0.031	8	0.004	0.497	0.831
	Residual	0.070	9	0.008		
	Total	0.102	17			

Note. The intercept model is omitted, as no meaningful information can be shown.

Coefficients

Model		Unstandardized	Standard Error	Standardized	t	p	95% CI	
							Lower	Upper
H <sub>0</sub>	(Intercept)	2.024	0.018		111.059	< .001	1.985	2.062
H <sub>1</sub>	(Intercept)	0.517	1.957		0.264	0.798	-3.911	4.945
	AngoloDiSpintaToeOff_medio	0.016	0.022	0.495	0.711	0.495	-0.034	0.066
	AngoloSostegno_medio	-0.002	0.013	-0.103	-0.121	0.906	-0.031	0.028
	TAV_EarlyExt_angle_Mean	-0.007	0.015	-0.479	-0.495	0.633	-0.040	0.026
	TAV_EarlyFlex_angle_Mean	4.794×10 <sup>-4</sup>	0.006	0.042	0.082	0.936	-0.013	0.014
	TAV_FullFlexangle_Mean	0.009	0.010	0.547	0.848	0.419	-0.015	0.032
	Angolo_Ankle_2_medio	-0.004	0.007	-0.285	-0.542	0.601	-0.020	0.012
	Angolo_Shank_to_Y_lab_2_medio	0.001	0.005	0.087	0.213	0.836	-0.011	0.013
	AngoloThigh_to_X_lab_2_mean	0.009	0.014	0.364	0.597	0.566	-0.024	0.041

Tabella 3

Il gruppo dei parametri dinamici ha spiegato in maniera significativa ( $p < 0.05$ ) il 53,9 % della variabilità del tempo registrato dai soggetti nei 20 metri lanciati. In particolare, all'interno di questo modello di regressione multipla, sono risultati statisticamente significativi l'impulso orizzontale e l'impulso propulsivo ( $p < 0.05$ ).

Model Summary - Time\_flying\_20mt

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	0.077
H <sub>1</sub>	0.734	0.539	0.397	0.060

ANOVA ▼

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	0.055	4	0.014	3.793	0.030
	Residual	0.047	13	0.004		
	Total	0.102	17			

Note. The intercept model is omitted, as no meaningful information can be shown.

Coefficients

Model		Unstandardized	Standard Error	Standardized	t	p	95% CI	
							Lower	Upper
H <sub>0</sub>	(Intercept)	2.024	0.018		111.059	< .001	1.985	2.062
H <sub>1</sub>	(Intercept)	1.832	0.180		10.199	< .001	1.444	2.221
	Impulse_vertical_mean	0.314	0.687	0.096	0.457	0.655	-1.170	1.798
	Impulse_horizontal_mean	-66.261	25.392	-1.646	-2.610	0.022	-121.117	-11.405
	Impulse_braking_mean	39.236	26.535	1.004	1.479	0.163	-18.089	96.562
	Impulse_propulsive_mean	55.344	24.787	1.648	2.233	0.044	1.794	108.894

Tabella 4

Infine, è stato proposto un gruppo di variabili seguendo le indicazioni degli allenatori (tabella 5) che ha spiegato in modo statisticamente significativo l'82,9% della variabilità del tempo registrato sul lanciato. Ad esclusione dell'impulso massimo verticale e dell'angolo di spinta tutti i singoli parametri hanno raggiunto la significatività statistica.

*Model Summary – Time\_flying\_20mt*

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	RMSE
H <sub>0</sub>	0.000	0.000	0.000	0.077
H <sub>1</sub>	0.910	0.829	0.676	0.044

*ANOVA*

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
H <sub>1</sub>	Regression	0.084	8	0.011	5.438	0.010
	Residual	0.017	9	0.002		
	Total	0.102	17			

*Note.* The intercept model is omitted, as no meaningful information can be shown.

*Coefficients*

Model		Unstandardized	Standard Error	Standardized	t	p	95% CI	
							Lower	Upper
H <sub>0</sub>	(Intercept)	2.024	0.018		111.059	< .001	1.985	2.062
H <sub>1</sub>	(Intercept)	1.875	0.429		4.370	0.002	0.904	2.845
	Impulse_vertical_mean	0.582	0.553	0.177	1.052	0.320	-0.669	1.834
	Impulse_horizontal_mean	-47.048	19.867	-1.168	-2.368	0.042	-91.990	-2.106
	Impulse_braking_mean	54.205	20.662	1.387	2.623	0.028	7.463	100.946
	Impulse_propulsive_mean	52.942	20.202	1.577	2.621	0.028	7.243	98.642
	HIP_Displacement_Mean	-3.438	0.944	-1.839	-3.642	0.005	-5.574	-1.303
	Contact_Time_Mean	16.167	4.369	1.503	3.700	0.005	6.284	26.050
	Flight_Time_Mean	2.518	1.083	0.583	2.324	0.045	0.067	4.969
	AngoloDiSpintaToeOff_medio	-0.007	0.007	-0.212	-0.981	0.352	-0.022	0.009

Tabella 5

Il confronto tra le due condizioni di prova ha evidenziato differenze statisticamente significative per i seguenti parametri: Tempo sui 20 metri, tempo di contatto al suolo e “TAV early flexion angle mean”.

Measure 1	Measure 2	t	df	p	Cohen's d	SE Cohen's d	95% CI for Cohen's d	
							Lower	Upper
Time_flying_20mt_A	- Time_flying_20mt_B	-3.283	17	0.004	-0.774	0.098	-1.294	-0.236
Contact_Time_Mean_A	- Contact_Time_Mean_B	-2.548	17	0.021	-0.601	0.122	-1.097	-0.090
Flight_Time_Mean_A	- Flight_Time_Mean_B	-0.495	17	0.627	-0.117	0.204	-0.579	0.349
TAV_FullFlex_time_Mean_A	- TAV_FullFlex_time_Mean_B	0.342	17	0.737	0.081	0.196	-0.383	0.542
TAVEarlyExt_time_Mean_A	- TAVEarlyExt_time_Mean_B	-1.871	17	0.079	-0.441	0.161	-0.920	0.050
Stride_Length_mean_NORM_A	- Stride_Length_mean_NORM_B	0.105	17	0.918	0.025	0.222	-0.438	0.486
Step_length_mean_NORM_A	- Step_length_mean_NORM_B	0.169	17	0.868	0.040	0.207	-0.423	0.501
Y_Pelvis_COM_Excursion_Mean_A	- Y_Pelvis_COM_Excursion_Mean_B	0.057	17	0.955	0.014	0.119	-0.449	0.475
HIP_Displacement_Mean_A	- HIP_Displacement_Mean_B	-1.103	17	0.285	-0.260	0.115	-0.726	0.214
Angolo_Ankle_2_medio_A	- Angolo_Ankle_2_medio_B	-0.180	17	0.860	-0.042	0.135	-0.504	0.420
Angolo_Shank_to_Y_lab_2_medio_A	- Angolo_Shank_to_Y_lab_2_medio_B	0.762	17	0.456	0.180	0.119	-0.289	0.643
AngoloDiSpintaToeOff_medio_A	- AngoloDiSpintaToeOff_medio_B	0.765	17	0.455	0.180	0.133	-0.288	0.643
AngoloSostegno_medio_A	- AngoloSostegno_medio_B	0.154	17	0.879	0.036	0.136	-0.426	0.498
AngoloThigh_to_X_lab_2_mean_A	- AngoloThigh_to_X_lab_2_mean_B	1.731	17	0.102	0.408	0.140	-0.079	0.884
TAV_EarlyExt_angle_Mean_A	- TAV_EarlyExt_angle_Mean_B	-1.483	17	0.156	-0.350	0.159	-0.821	0.132
TAV_EarlyFlex_angle_Mean_A	- TAV_EarlyFlex_angle_Mean_B	-3.133	17	0.006	-0.738	0.162	-1.254	-0.206
TAV_FullFlexangle_Mean_A	- TAV_FullFlexangle_Mean_B	-1.815	17	0.087	-0.428	0.157	-0.905	0.061
TAV_EarlyExt_angularVelocity_1_Mean_A	- TAV_EarlyExt_angularVelocity_1_Mean_B	-0.849	17	0.408	-0.200	0.146	-0.664	0.270
Impulse_vertical_mean_A	- Impulse_vertical_mean_B	-0.714	17	0.485	-0.168	0.343	-0.631	0.299
Impulse_horizontal_mean_A	- Impulse_horizontal_mean_B	-1.308	17	0.208	-0.308	0.208	-0.777	0.169
Impulse_braking_mean_A	- Impulse_braking_mean_B	1.142	17	0.269	0.269	0.198	-0.205	0.736
Impulse_propulsive_mean_A	- Impulse_propulsive_mean_B	-2.071	17	0.054	-0.488	0.238	-0.972	0.008
maxGRF_vertical_mean_A	- maxGRF_vertical_mean_B	-1.573	17	0.134	-0.371	0.173	-0.844	0.112
maxGRF_horizontal_mean_A	- maxGRF_horizontal_mean_B	-1.586	17	0.131	-0.374	0.246	-0.847	0.110

Note. Student's t-test.

Tabella 6 scrivi didascalia in questa e anche nelle altre. Aggiungi la tabella qui di JASP con le medie dei parametri.

## Discussione

Lo scopo dello studio è di analizzare i parametri cinematici e dinamici durante la corsa lanciata che possano spiegare lo sviluppo delle forze di reazione al suolo e correlare tali parametri con la performance nei 20 metri (30-50 metri) degli atleti di velocità nell'atletica leggera. I risultati ottenuti, utilizzando la regressione lineare multipla, hanno dimostrato come i parametri cinetici spieghino maggiormente la variabilità della prestazione sui 20 metri rispetto ai parametri Cinematici (tabelle 4 e 5). Il modello comprendente dei parametri sia cinematici che dinamici indicati dagli allenatori quello che ha maggiormente spiegato la variabilità della prestazione. I risultati ottenuti si discordano rispetto allo studio di Nagahara [7], il quale ha indicato che nello sprint la forza verticale è più importante rispetto alle forze orizzontali che comprende la forza frenante e propulsiva. D'altro canto, i nostri risultati sono parzialmente in accordo con lo studio di Weyand [8] quando sottolinea che per migliorare la velocità massima non è importante la velocità con cui si muovono i segmenti della coscia e della gamba. Tuttavia, lo stesso autore sottolinea l'importanza della componente verticale delle forze di reazione al suolo che favorirebbe un aumento tempo di volo e di spazio percorso, concetto non confermato dai risultati delle regressioni multiple. I risultati ottenuti sembrano suggerire che, per atleti d'alto livello, la prestazione non sembra essere influenzato in modo significativo dalla tecnica di corsa. Sembra invece che il vero punto focale riguarda gli impulsi con particolare riferimento a quello frenante e a quello propulsivo. a tal punto da lasciare presupporre che un

incremento dei parametri cinetici studiati potrebbe portare ad un miglioramento della performance mantenendo invariati i valori dei parametri cinematici. Questo potrebbe implicare che, padroneggiata la tecnica di corsa, l'allenamento dovrebbe privilegiare esercizi e metodiche che favoriscano lo sviluppo della forza specifica, ad esempio lavori con sovraccarichi e sessioni specifiche di pliometria, per massimizzare la capacità dell'atleta di generare la maggior forza propulsiva nel minor tempo possibile di contatto del piede a terra. Pertanto, ottimizzare l'allenamento di forza potrebbe essere uno dei fattori determinante per far raggiungere all'atleta il suo massimo potenziale entro i limiti dettati dal suo corredo genetico. Per quanto riguarda il tempo più alto registrato sui 20 metri nella condizione B, esso potrebbe essere dettato dalla mancanza di un adeguato periodo di allenamento per permettere al corpo un preadattamento alla nuova falcata così come dal condizionamento creato dalla presenza dei cinesini a terra. Studi futuri dovranno supplire a queste possibili limitazioni per poter avere dati più certi sull'effetto della variazione della falcata sulla prestazione cronometrica del lanciato. Con il proseguimento di questo studio, in futuro si potrebbe ottimizzare l'analisi delle prestazioni degli atleti attraverso l'integrazione di nuovi parametri o la rimozione di quelli meno rilevanti, al fine di sviluppare un modello più completo e accurato per la valutazione della performance. Ciò permetterebbe di identificare in modo più preciso i punti di forza e le aree di miglioramento, facilitando così interventi personalizzati per l'ottimizzazione delle prestazioni atletiche, rendendolo il modello un punto di riferimento per gli allenatori e i professionisti dello sport.

## References

- 1) von Lieres Und Wilkau, H. C., Bezodis, N. E., Morin, J.-B., Irwin, G., Simpson, S., & Bezodis, I. N. (2020). The importance of duration and magnitude of force application to sprint performance during the initial acceleration, transition and maximal velocity phases. *Journal of Sports Sciences*, 38(20), 1–8. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1785193>
- 2) Bezodis, N. E., Willwacher, S., & Salo, A. I. T. (2019). The Biomechanics of the Track and Field Sprint Start: A Narrative Review. *Sports Medicine*, 49(9), 1345–1364. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01138-1>
- 3) Mann, R., & Murphy, A. (2018). The mechanics of sprinting and hurdling.
- 4) Janowski, M., Zieliński, J., Włodarczyk, M., & Kusy, K. (2017). Kinematic analysis of the block start and 20-metre acceleration phase in two highly-trained sprinters: A case report. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 9(3), 18–32. <https://doi.org/10.29359/bjhpa.09.3.02>
- 5) Bezodis, N. E., Walton, S. P., & Nagahara, R. (2018). Understanding the track and field sprint start through a functional analysis of the external force features which contribute to higher levels of block phase performance. *Journal of Sports Sciences*, 37(5), 560–567. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1521713>
- 6) Cavedon, V., Bezodis, N. E., Sandri, M., Pirlo, M., Zancanaro, C., & Milanese, C. (2022). Relationships between anthropometric characteristics, block settings, and block clearance technique during the sprint start. *Journal of Sports Sciences*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2049082>
- 7) Nagahara, R., Kanehisa, H., Matsuo, A., & Fukunaga, T. (2019). Are peak ground reaction forces related to better sprint acceleration performance? *Sports Biomechanics*, 20(3), 1–10. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1560494>
- 8) Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1991–1999. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.5.1991>

## Ringraziamenti

Desidero dedicare queste righe alle persone che, con il loro supporto, hanno reso possibile il raggiungimento di **uno dei traguardi**. Essa rappresenta non solo il coronamento di un lungo percorso, ma anche il risultato di un viaggio che non avrei mai potuto affrontare da solo.

Un grazie immenso ai miei genitori, Lia e Alberto, che con il loro amore, sostegno e fiducia incondizionata hanno sempre creduto in me, dandomi la forza di perseguire i miei sogni. Grazie per avermi insegnato l'importanza della dedizione e del sacrificio, e per essere stati sempre al mio fianco. Senza di voi, niente di tutto questo sarebbe stato possibile.

Vorrei esprimere un ringraziamento speciale ai miei nonni, Orlando e Maria. Fin da quando ero piccolo mi avete accolto con amore, facendomi sentire come se fossi in questa famiglia da sempre e soprattutto avete avuto un ruolo fondamentale nella mia crescita. Grazie per avermi insegnato l'italiano con pazienza, per i tanti pranzi preparati dopo scuola e per tutte le volte in cui avete dedicato il vostro tempo a me. Ma soprattutto, vi ringrazio per i valori che mi avete trasmesso e che porterò sempre con me. So che, grazie a voi, sarò una persona migliore, con ambizioni solide e radicate nei principi che mi avete insegnato.

Un ringraziamento speciale va a mia zia, sorella maggiore e amica: per me sei tutto questo. Grazie per essere stata sempre al mio fianco, mi hai sempre aiutato nei compiti ascoltato le mie lamentele. Il tuo supporto e la tua presenza costante hanno reso tutto più semplice e di questo ti sarò per sempre grato.

Vorrei ringraziare di cuore i miei amici d'infanzia Sofia, Eleonora e Luca P. siete i primi amici che ho avuto e gli unici che, ancora ad oggi, mi ritengono un amico degno della vostra fiducia anche se le nostre strade si sono divise ormai da diversi anni.

Ringrazio infinitamente Paolo, che considero come un secondo padre e che mi ha visto crescere sia fisicamente che umanamente. Ti sono profondamente grato per l'impegno e la passione che hai dedicato e per avermi accompagnato lungo il percorso che mi ha condotto fino a questo traguardo.

Vorrei ringraziare di cuore i miei nuovi amici Michele, Emanuele, Ilenia, Francesca, Chiara, Andrea, Francois, Cianci, Martina L., Carlotta B. e Anna B. Siete stati i compagni che mi hanno accompagnato in questa straordinaria avventura nell'atletica leggera e non solo. Avete reso più sopportabile la solitudine che provavo come studente fuorisede, facendomi sentire meno la lontananza di casa.

Insieme abbiamo condiviso fatiche e momenti bui ma anche gioie, soddisfazioni e tanto divertimento. Ogni esperienza vissuta con voi ha reso questi anni indimenticabili. (#CHINAMAN)

Ringrazio i miei coinquilini Marco B. e Marco A. Siete stati dei compagni perfetti e non avrei potuto chiedere di meglio. Le pizze dal Bestia, i gelati del Portogallo e le sfide con i giochi hanno reso i nostri momenti insieme indimenticabili e che faranno sempre una parte di noi.

Ringrazio Chiara H., Angelo H., Luo Lan, Dennis, Giorgia, Emma, Federico e tutte le altre persone che mi hanno lasciato un pezzo di loro.

Infine, un ringraziamento speciale va ai miei **MIGLIORI** amici Luca, Leonardo, Riccardo e Tommaso, veri compagni di viaggio in questa avventura. Nonostante le distanze, i periodi di stress e le lunghe ore di studio (#FORMAZIONEMEDUSA), siete sempre stati al mio fianco, pronti a offrirmi sostegno, distrazioni e soprattutto risate nei momenti più difficili. Condividere questa esperienza con voi l'ha resa non solo più sopportabile, ma spesso anche divertente. Siete stati la mia seconda famiglia, un'ancora a cui aggrapparmi nei momenti di difficoltà, i miei consulenti nei momenti di sconforto. Senza il vostro affetto e la vostra amicizia, non so se avrei raggiunto questo traguardo con la stessa serenità.

Come ultimo ringraziamento, desidero esprimere la mia sincera gratitudine al mio Relatore, Giuseppe Marcolin. Non solo mi ha trasmesso la sua passione per la materia, ma mi ha anche guidato con dedizione e competenza nello sviluppo della mia idea di tesi. La sua disponibilità, la sua professionalità e i suoi preziosi consigli sono stati fondamentali in ogni fase di questo percorso. Senza il suo supporto e la sua esperienza, non avrei potuto raggiungere questo traguardo. Per tutto questo, gli sono profondamente grato.

A tutti voi, il mio più profondo e sentito grazie. Questa tesi è il frutto del mio impegno, ma anche della vostra presenza costante.