



**UNDICESIMO CONVEGNO DI TRAUMATOLOGIA  
CLINICA E FORENSE**

**19° Corso di Ortopedia, Traumatologia e Medicina Legale**

**LE CAUSE DI INSUCCESSO IN ORTOPEDIA E IN MEDICINA  
RIABILITATIVA: DAL PLANNING AL CONTENZIOSO**

**ANALISI BAROPODOMETRICA, GAIT ANALYSIS CON MOTION  
METRIX SU PEDANE CON SENSORI ZEBRIS CON SVILUPPO  
PLANTARI E APPLICAZIONI DEVICE DURANTE L'ITER  
TERAPEUTICO**

**Salsomaggiore, 5 Novembre 2022**



DODICESIMO CONVEGNO DI TRAUMATOLOGIA CLINICA E FORENSE  
19° Corso di Ortopedia, Traumatologia e Medicina Legale

Presidenti  
F.M. Donelli, M. Gabbrielli, G. Varacca

4-5 Novembre 2022  
Salsomaggiore Terme (PR)



Foto Colombo/FIDAL



*Yassine Rachik*

Maratoneta olimpico



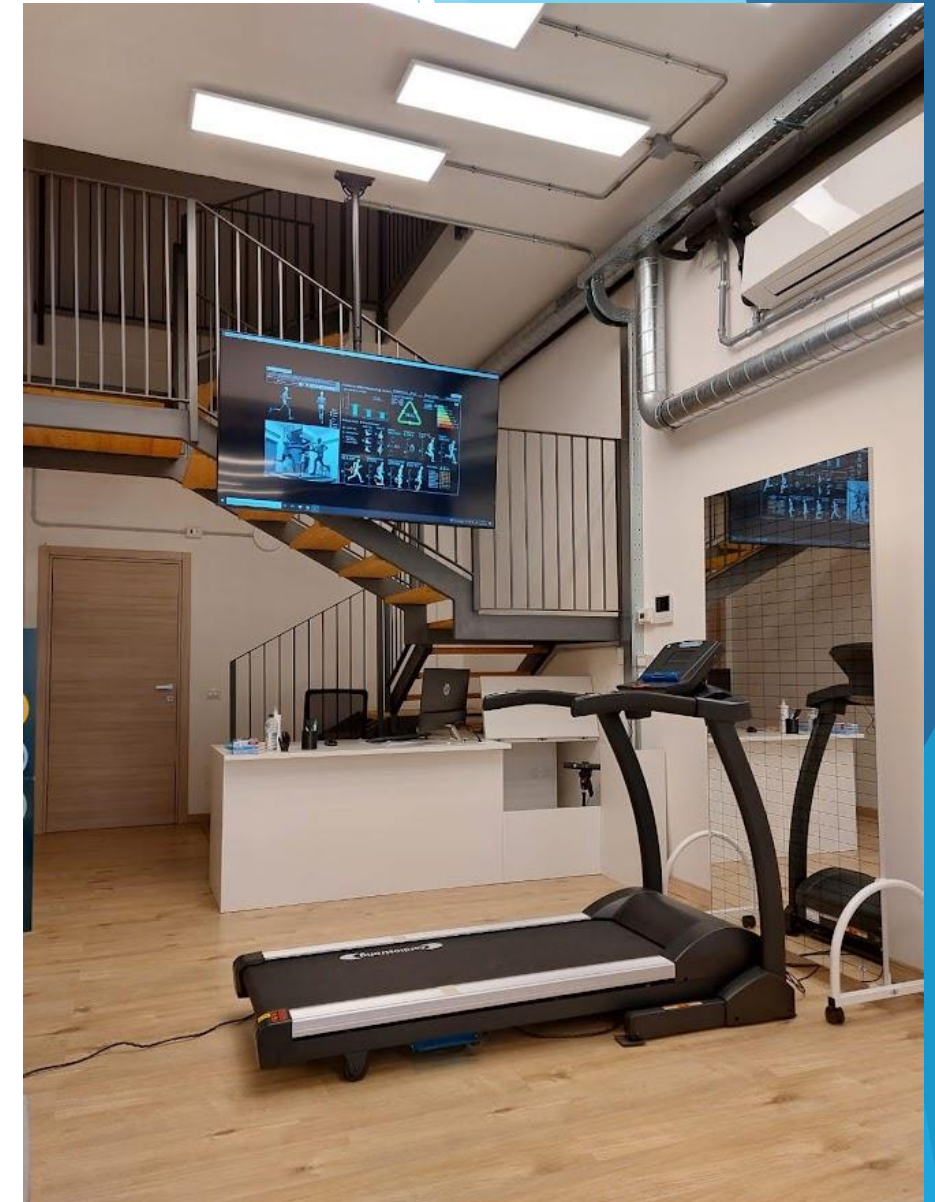
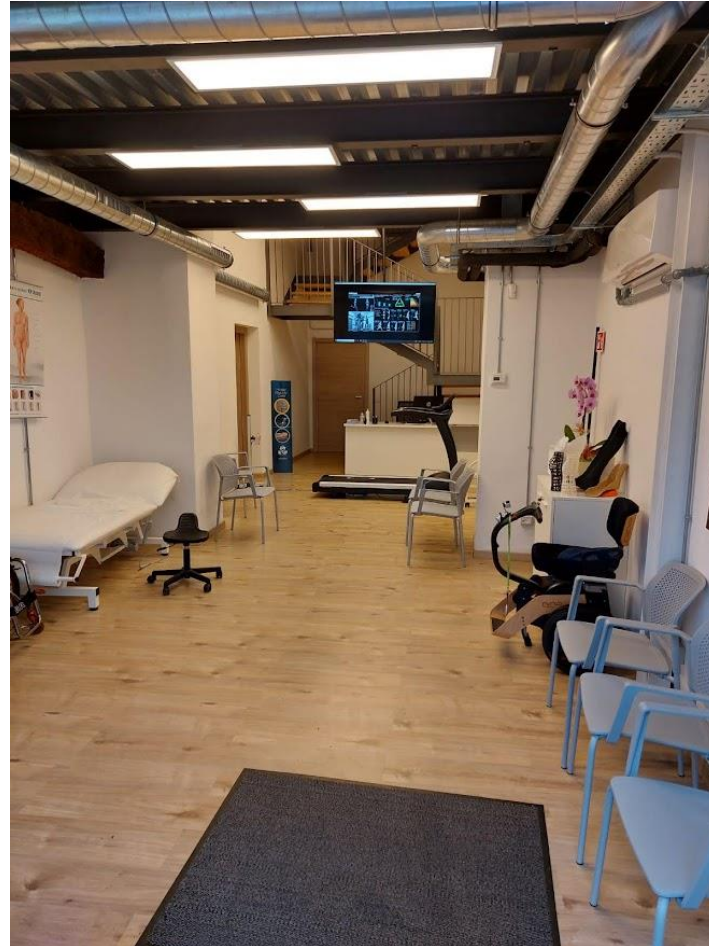
# Sistemi Treadmill Zebris

- Nel 1987 Zebris Medical GmbH introduce per prima e per la prima volta al mondo la tecnologia a sensori capacitivi per le pedane baropodometriche
- Zebris vanta numerosi studi indicizzati ed è accreditata presso la comunità scientifica internazionale
- Nello sport i treadmill Zebris sono presenti presso i più importanti club internazionali d'élite, i sensori capacitivi Zebris Medica GmbH sono considerati ormai il gold standard
- Il software Zebris produce vari report contenenti innumerevoli dati di valutazione, dalle pressioni e forze applicate, video della camminata/corsa, tempo/passi, simmetria dell'andatura



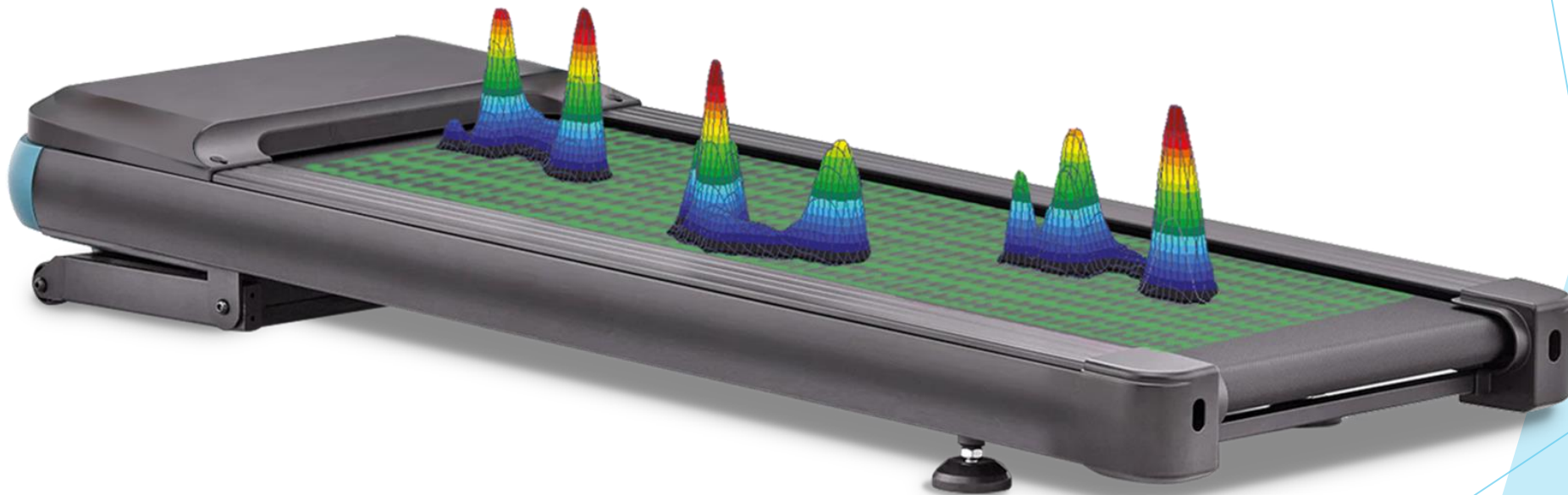
# Sistemi Treadmill Zebris

- Il sistema Zebris a sensori capacitivi permette di effettuare analisi statiche e dinamiche
- dati ripetibili e non casuali
- questo tipo di sensore ha un'isteresi ottimale che non entra in saturazione come invece il sensore resistivo
- permette l'analisi delle forze statiche e dinamiche e della distribuzione pressoria, determinando la funzionalità del piede
- strumento di precisione ed elemento importante per la realizzazione di ortesi plantari.



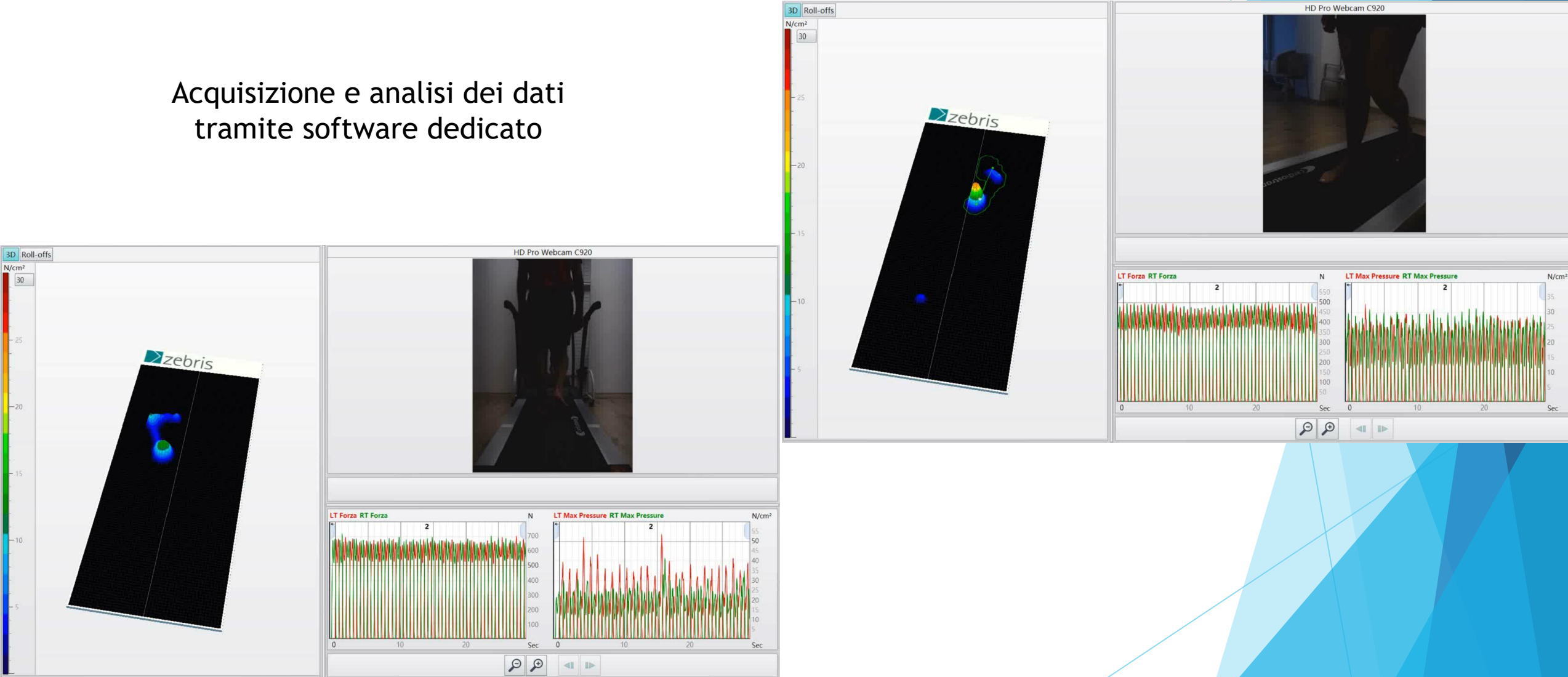
# Sistema Treadmill Zebris

Matrice con sensori pressori capacitivi e indipendenti, calibrati individualmente



# Sistema Treadmill Zebris

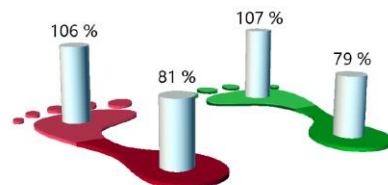
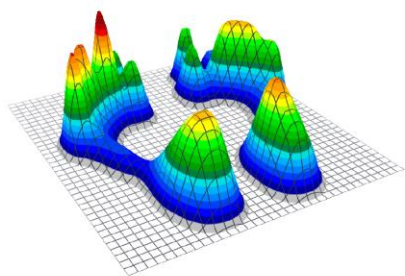
Acquisizione e analisi dei dati  
tramite software dedicato





# Sistema Treadmill Zebris

Distribuzione delle pressioni con comparazione di tutti i passi eseguiti durante il test

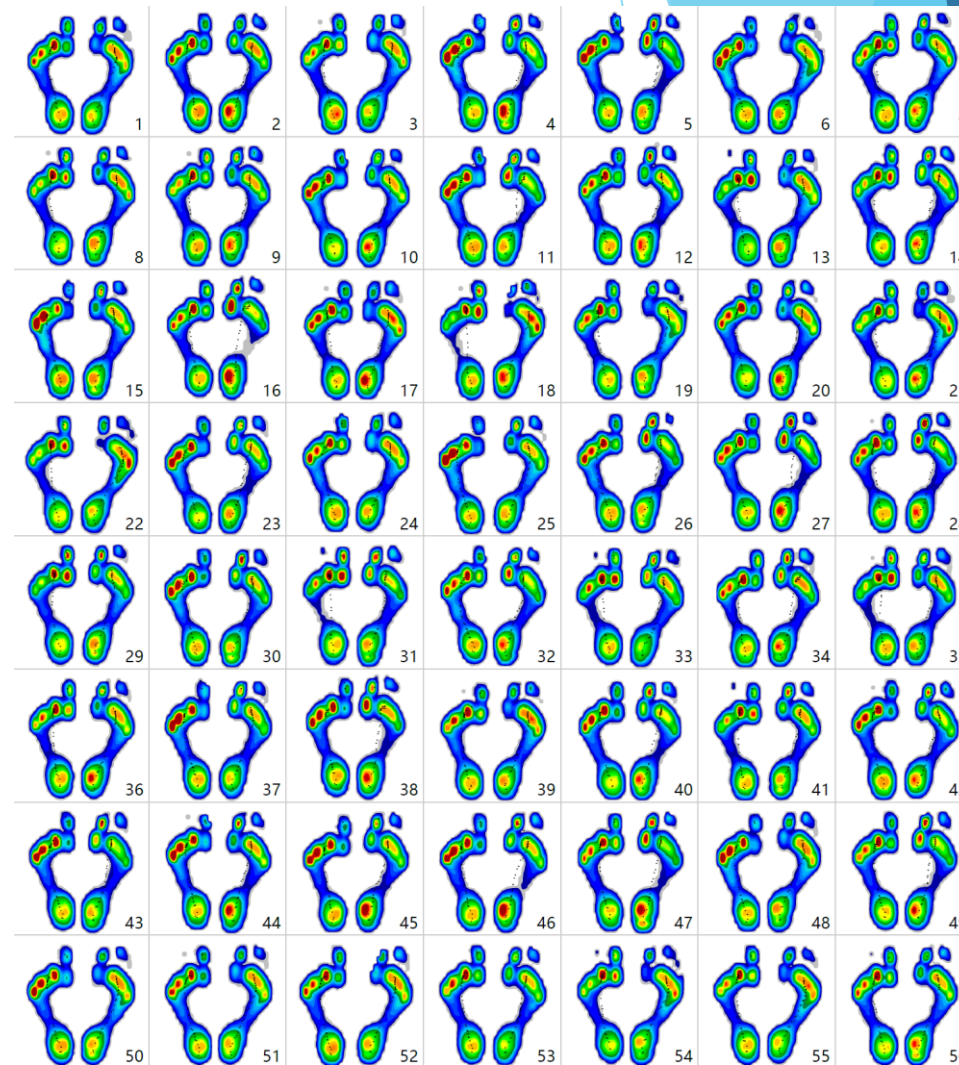
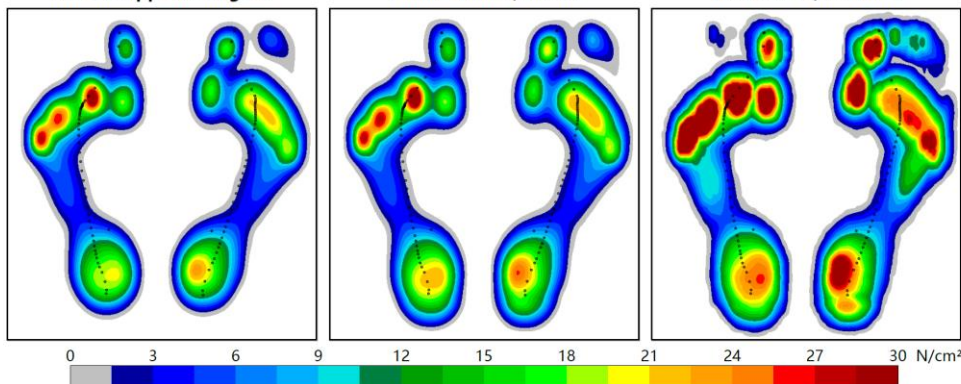


## Traccati pressori

Media supporto singolo

Analisi statica, media

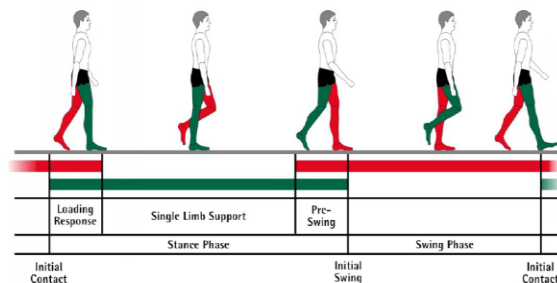
Fase statica, massima



# Sistema Treadmill Zebris

Dettagliata analisi del passo e ciclogramma Butterfly

## Parametri Gait



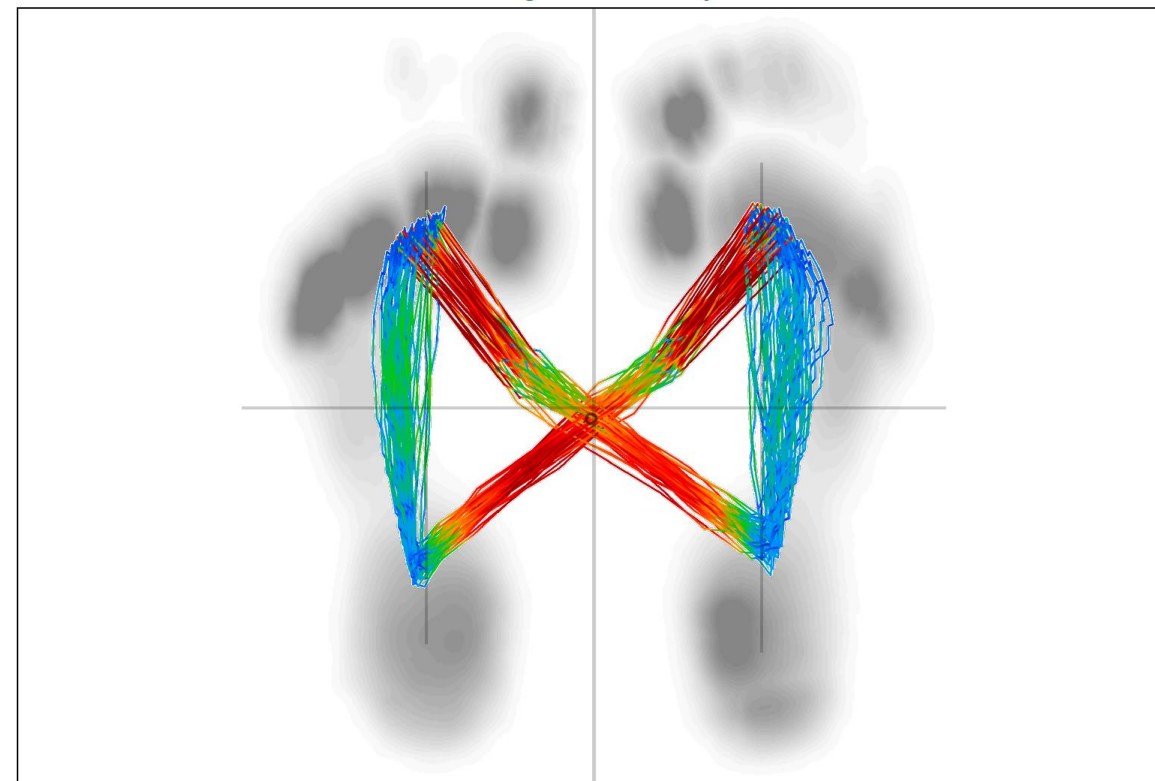
## Geometria

Rotazione piede, Gradi	L	5,7±1,4	-17°		17°
	R	13,6±1,7			
Lunghezza passo, cm	L	57±1			130 cm
	R	63±1			
Lunghezza Stride (falcata), cm		119±1			130 cm
Larghezza passo, cm		8±1			

## Fasi

Fase Statica, %	L	63,7±0,8			100 %
	R	64,5±0,8			
Risposta di carico, %	L	14,0±0,9			
	R	14,2±1,0			
Centro della fase statica, %	L	35,5±1,0			
	R	36,3±1,0			
Pre-Swing, %	L	14,2±1,0			
	R	14,0±1,0			
Swing Phase, %	L	36,3±0,8			
	R	35,5±0,8			
Doppia fase statica, %		28,3±1,3			

## Ciclogramma Butterfly



Linea Gait sinistra

Linea Gait destra



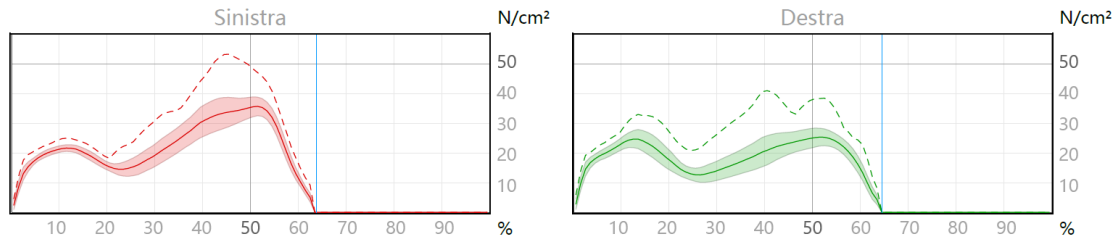


# Sistema Treadmill Zebris

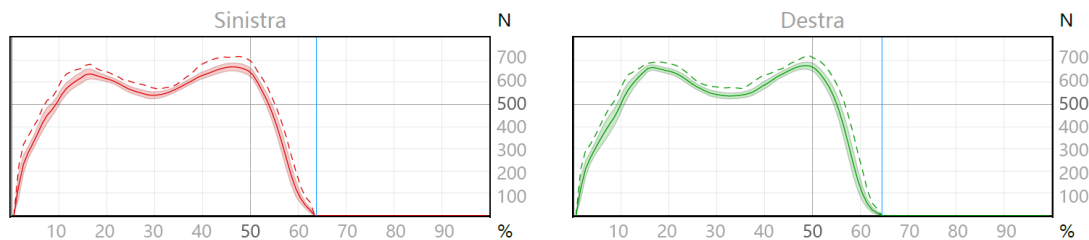
Analisi dell'intensità delle forze che agiscono sul piede

## Forza e pressione

### Curve pressorie



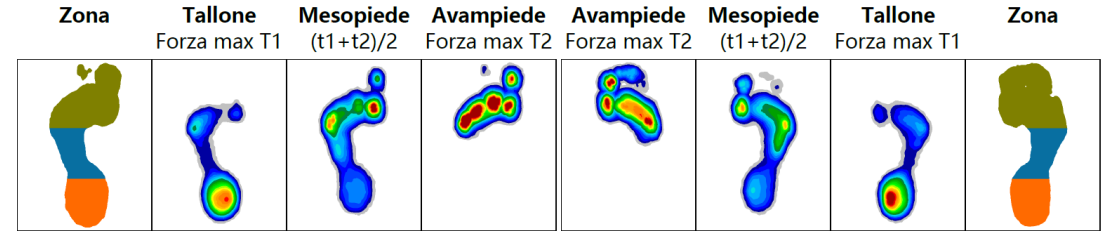
### Curve di forza



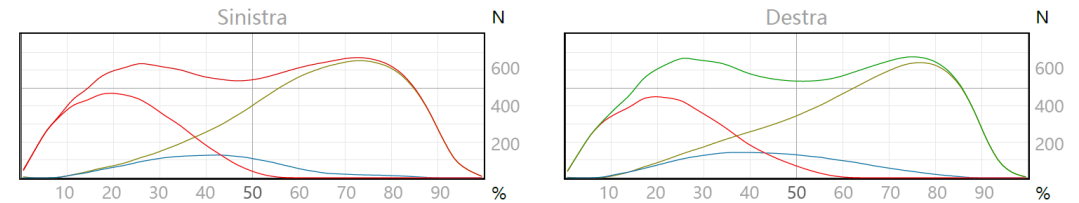
### Parametri della forza

Forza massima1, N	L	637,5	800 N
	R	667,1	
Tempo forza massimale1 (t1), %	L	16	100%
	R	16	
Forza massima2, N	L	669,2	800 N
	R	674,8	
Tempo forza massimale2 (t2), %	L	46	100%
	R	48	

## Analisi delle 3 zone del piede



### 3 Zone - curve di forza



### Variazione di carico

Tempo di cambio tallone/avampiede, Sec	L	0,24±0,02	0.3 Sec
	R	0,24±0,02	
Tempo di cambio tallone/avampiede, %	L	35,0±2,6	100%
	R	34,7±2,4	

### Forza massima, N

Avampiede	L	658,6±18,4	800 N
	R	651,2±15,5	
Mesopiede	L	136,7±26,2	
	R	151,1±32,3	
Tallone	L	480,5±19,7	
	R	460,6±22,2	

### Massimo della pressione, N/cm²

Avampiede	L	39,2±4,3	60 N/cm²
	R	27,5±4,3	
Mesopiede	L	17,1±6,2	
	R	18,3±3,3	
Tallone	L	22,4±1,2	
	R	25,9±3,2	

### Tempo forza massimale, % fase statica

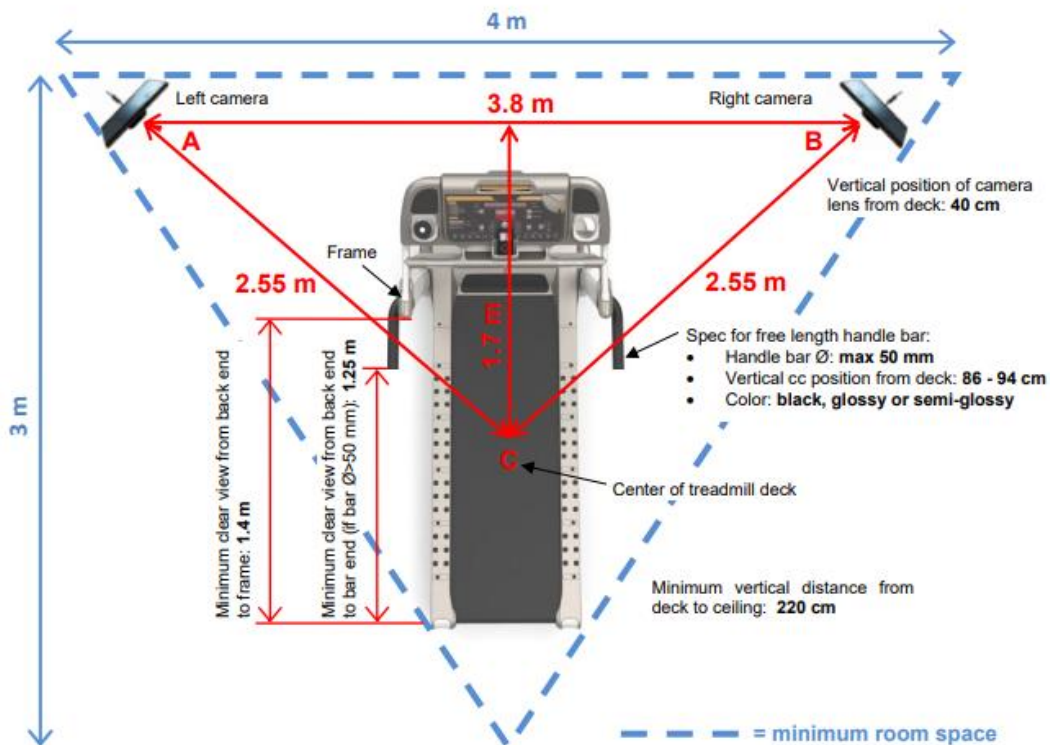
Avampiede	L	70,8±2,3	100%
	R	74,0±2,3	
Mesopiede	L	38,3±5,8	
	R	37,1±6,3	
Tallone	L	17,2±2,2	
	R	17,1±2,3	

# Sistema Motion Metrix

- strumento di analisi dell'andatura 3D completo e facile da usare
- utilizzo di telecamere sensibili alla profondità per registrare i dati di movimento. Una fotocamera sensibile alla profondità è come una normale fotocamera digitale, ma ogni pixel contiene anche informazioni sulla distanza dall'oggetto. Pertanto, è possibile ricostruire digitalmente qualsiasi oggetto o scena in 3D rapidamente e con precisione millimetrica
- uso di queste telecamere per catturare la camminata umana e il movimento della corsa in 3D
- contrariamente ai tradizionali sistemi di motion capture, le telecamere di profondità **non si basano su marker corporei**
- usano un modello di luce nel vicino infrarosso per percepire la profondità
- **non è necessario indossare tute o adesivi per il corpo**, l'analisi dell'andatura con MotionMetrix è molto veloce e facile
- Si inizia salendo sul tapis roulant e iniziando a muoversi, in meno di un minuto di test sul tapis roulant viene rilevato il tuo profilo biomeccanico completo.

# Sistema Motion Metrix

Due telecamere con sensori di profondità, un treadmill e il software di analisi Motion Metrix

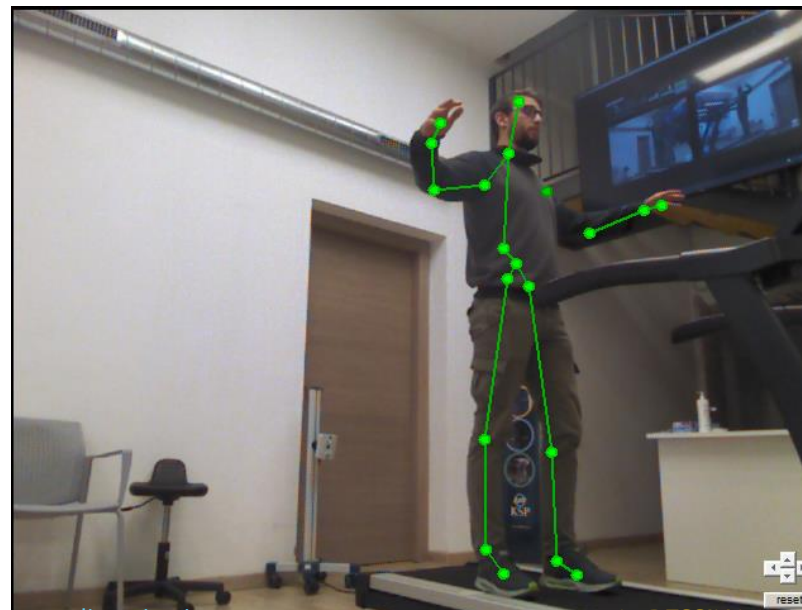


## MotionMetrix<sup>®</sup>



# Sistema Motion Matrix

Per i punti di repere del corpo si utilizza un sistema markerless, che garantisce comunque sensibilità al movimento e elevata precisione



# Sistema Motion Metrix

- Prove effettuate con atleti professionisti
- Test fisici di performance
- Test tecnici riferiti alle scarpe utilizzate





# Sistema Motion Matrix

Current run: UserData\YASSINE\_RACHIK\_93\YR\_93\_20210120T113001\_20kph\_(ON).mat  
 Ref. run:   
 Freeze    Framerate    History    Notes    Export results

Model:  
 Skeleton  
 Vector  
 View:  
 All  
 Sagittal  
 Frontal



Dr. Stefano Crippa – Dr. Nicolò Zucchiatti  
 Tecnico Ortopedico

○ Performance   ● Gait   ● Joint Loading   **MotionMatrix**

## RUNNING PERFORMANCE @ 20 km/h

### MECHANICAL WORK

Elite range (Eco sprinter)

### ELASTIC EXCHANGE

Excellent: >35%  
 Good: 25-35%  
 Average: 15-25%  
 Poor: <15%

### ECONOMY

**2.66**  
 Joules/kg/m

A+++	<2.7
A+	2.7-2.85
A	2.85-3
B	3-3.15
C	3.15-3.3
D	3.3-3.45
E	>3.45

● Runner Profile   ○ Stride Parameters

- ▶ = Current value
- ▶ = Reference value
- █ = Elite range (Eco sprinter)
- ✗ = Center of Mass

Strike Type

Rearfoot

Midfoot

Forefoot

Pelvic Tilt

Neutral

Cadence

**91.3 /min**

Contact Time

**0.176 s**

Forward Lean

**4.2 °**

Overstride

**194 mm**

Vertical Displacement

**88.9 mm**

Braking Force (max)

**0.11 Fv**

Vertical Force (max)

**2.98 BW**

Lateral Force (max)

**0.04 Fv**

Stride Rating: **4.4 / 5.0**

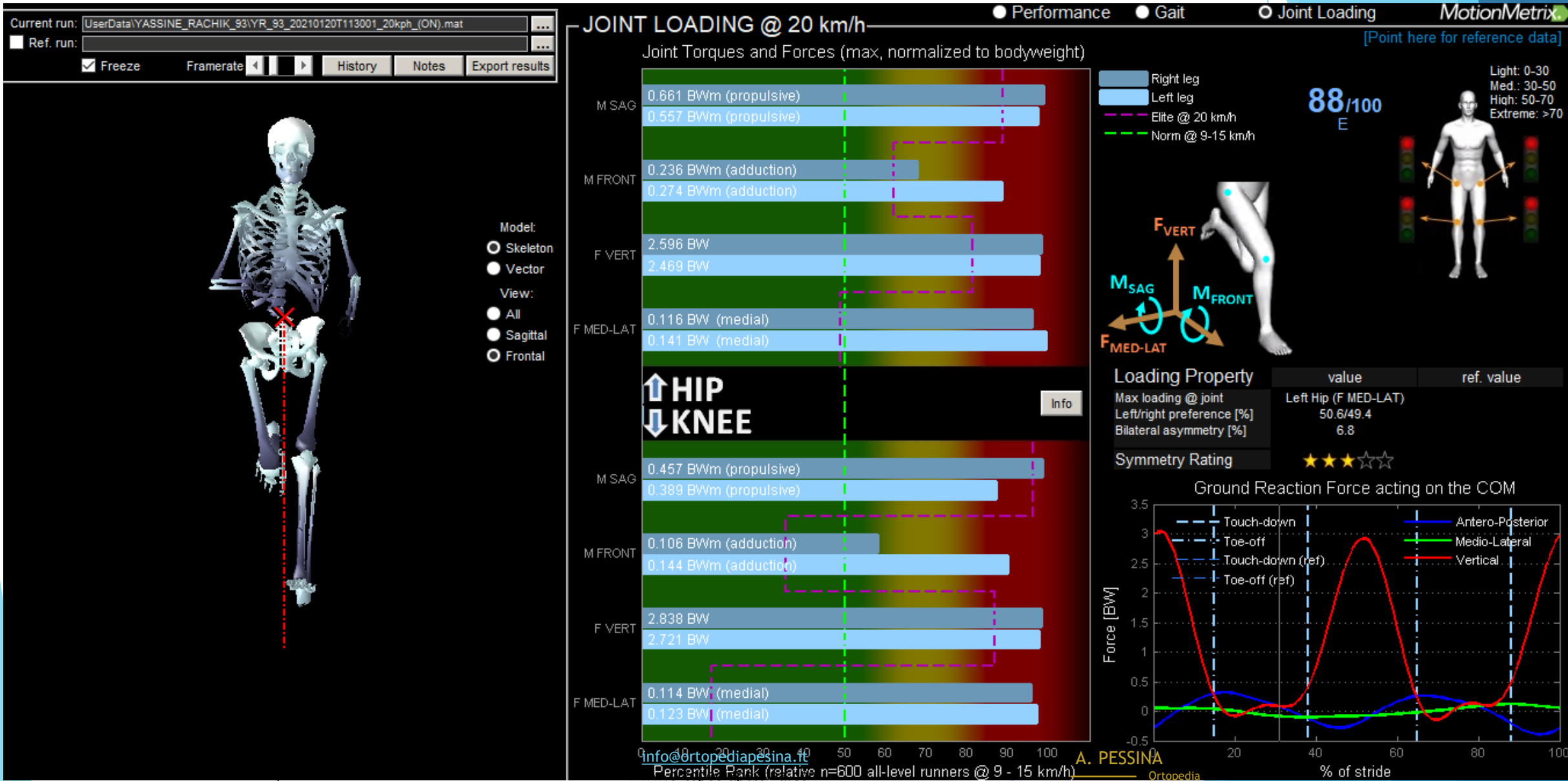
Cadence	★★★★★
Contact Time	★★★★★
Forward Lean	★★★★★
Vertical Displ.	★★★★★
Overstride	★★★★★
Braking Force	★★★★☆
Vertical Force	★★★★★
Lateral Force	★☆☆☆☆



# Sistema Motion Matrix



# Sistema Motion Metrix



# YASSINE RACHIK

 **Atletica**  
**YASSINE  
RACHIK**

*Specialità*  
Maratona



Data di nascita: 11/06/1993  
Luogo di nascita: Ain Sebaa (Marocco)  
Altezza x Peso: 1,71 x 57  
Prima Società: Polisportiva Capriolese  
Società: Fiamme Oro

Primo Tecnico: Arrigo Fratus  
Tecnico: Alberto Colli

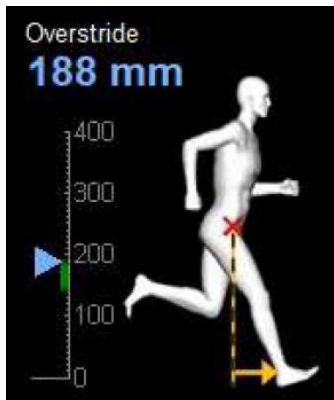
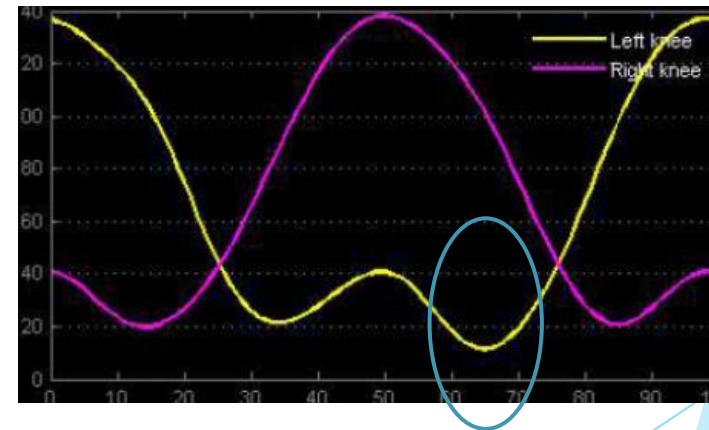
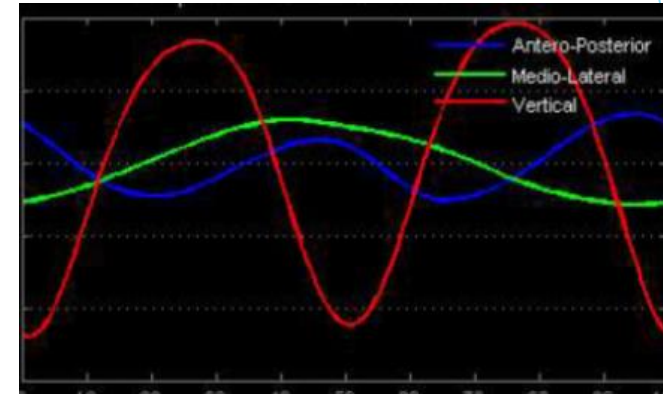
*Partecipazione olimpiadi:*  
Esordiente





# Da dove siamo partiti?

- ▶ Prima analisi 20/01/2022
- ▶ Sorgono dei quesiti biomeccanici sulla corsa di Rachik
- ▶ Spinta Verticale asimmetrica e iperestensione di ginocchio
- ▶ Retroversione di bacino e overstride





# Post Infortunio

- ▶ Analisi corsa bassa velocità primo periodo
- ▶ Raffronto a 19kmh dopo completa guarigione
- ▶ Differenti risposte tra due modelli di scarpa Nike
- ▶ Quale usare? Quando?
- ▶ Analisi dati

# Extrarotazione del piede

## Scarpa Nike gara

Rotazione piede, Gradi	L	9,2±1,9	-12°	
	R	8,6±1,9		

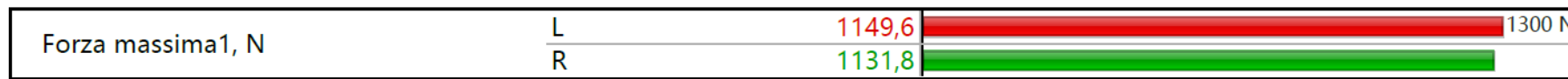
## Scarpa Nike soft

Rotazione piede, Gradi	L	8,0±2,2	-11°	
	R	5,8±2,2		

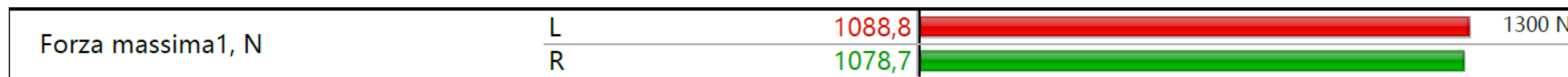


# Media forza massima generata

Scarpa Nike gara  
Media: 1140,7 N









Scarpa Nike soft  
Media: 1083,75 N









# Media forza generata al tallone

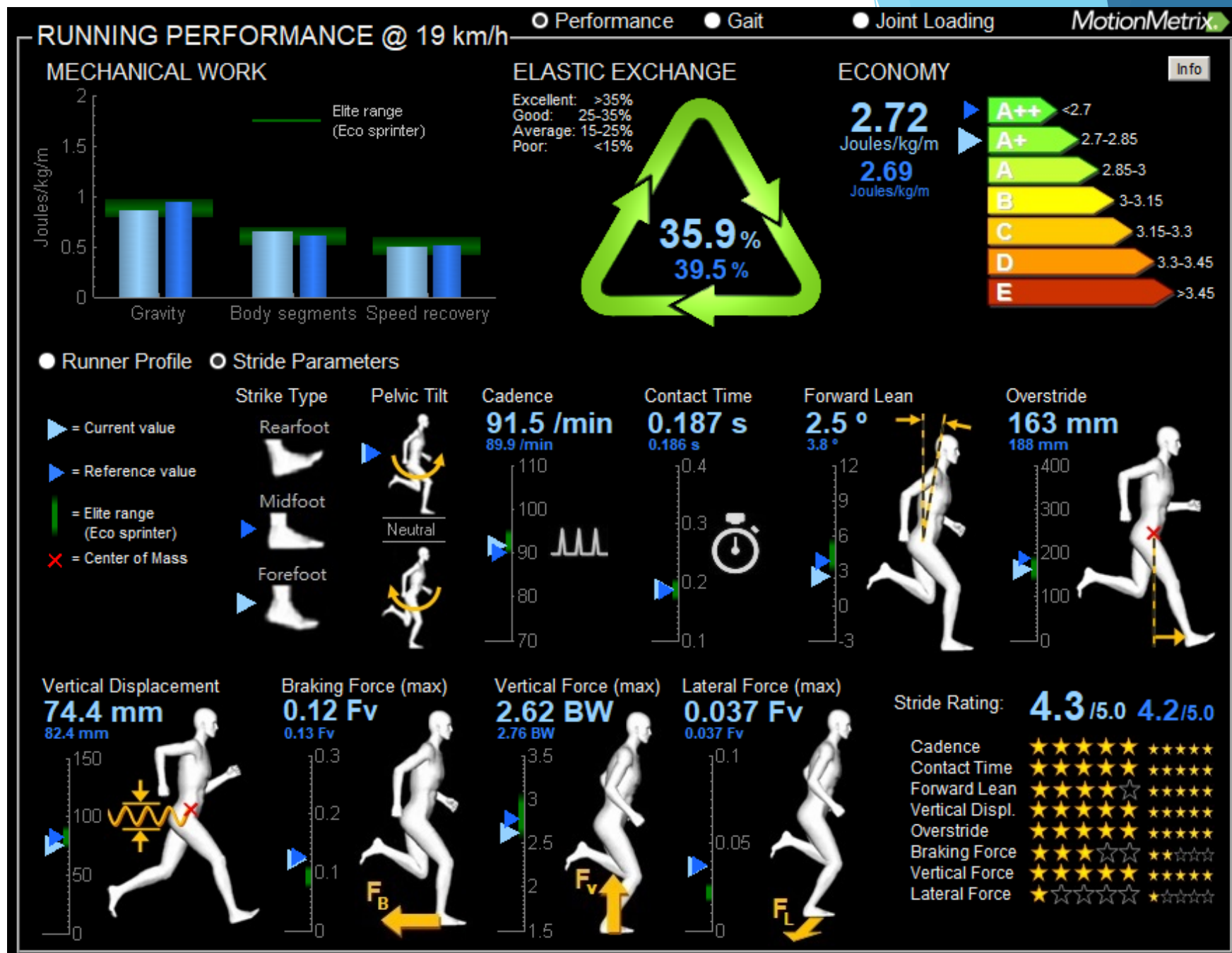
## Scarpa Nike gara Media tallone: 221,9 N

Avampiede	L	776,8±43,8		1300 N
	R	818,7±39,1		
Mesopiede	L	434,9±22,7		
	R	390,4±22,6		
Tallone	L	231,8±47,5		
	R	212,0±35,9		

## Scarpa Nike gara Media tallone: 198,85 N

Avampiede	L	703,4±35,6		1200 N
	R	700,5±38,2		
Mesopiede	L	415,8±22,9		
	R	408,2±21,7		
Tallone	L	219,3±35,4		
	R	178,4±36,5		

# Confronto con prima analisi

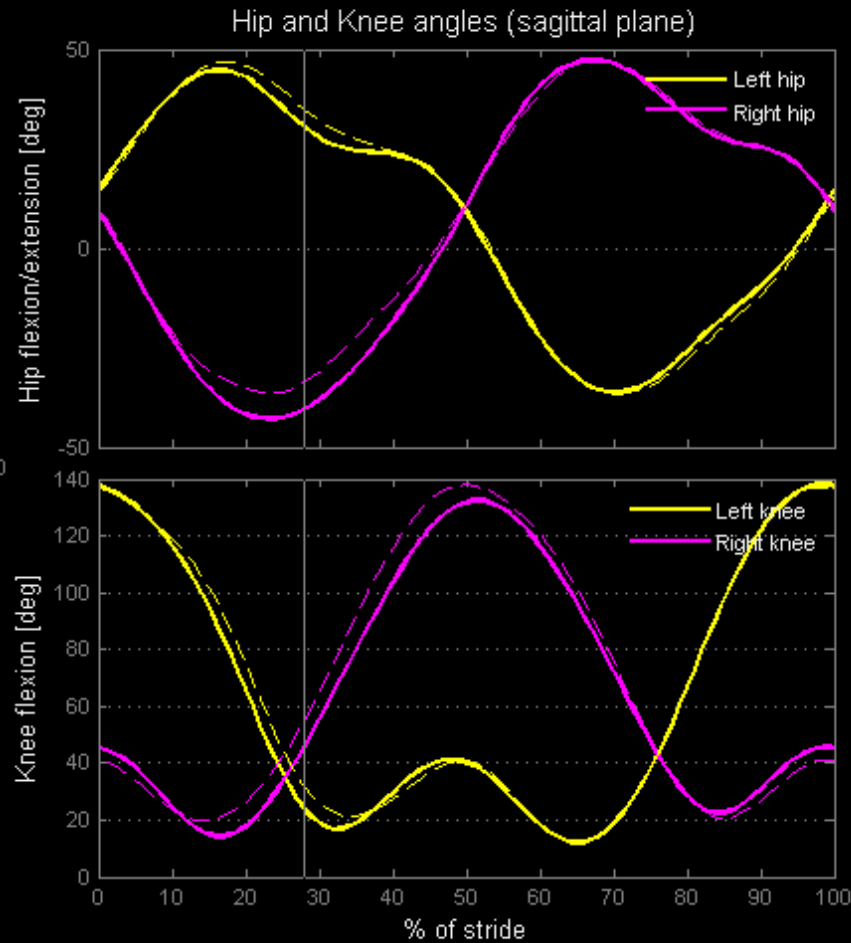
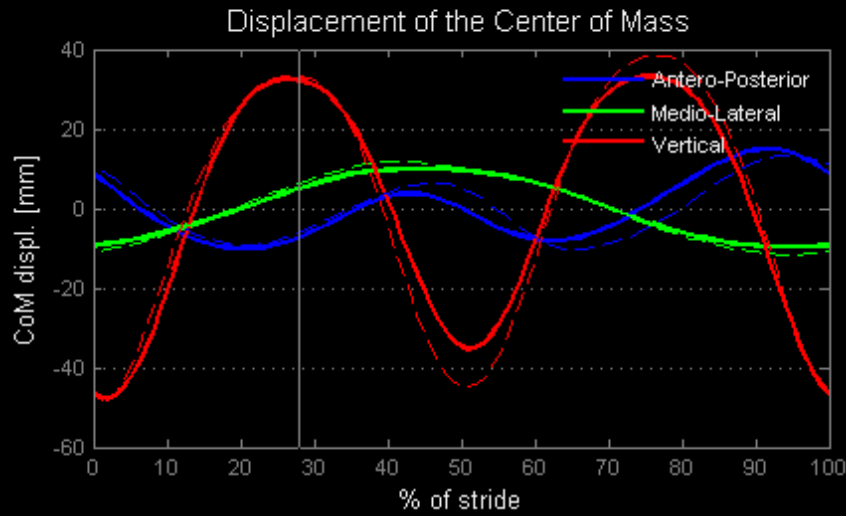




# GAIT CHARACTERISTICS @ 19 km/h

● Performance ○ Gait ● Joint Loading

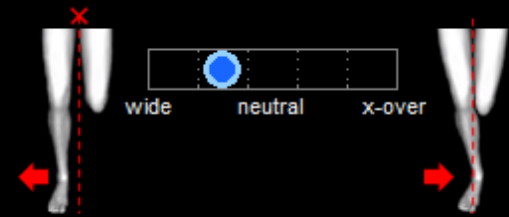
MotionMetric



## Frontal Plane Alignment

Step Separation

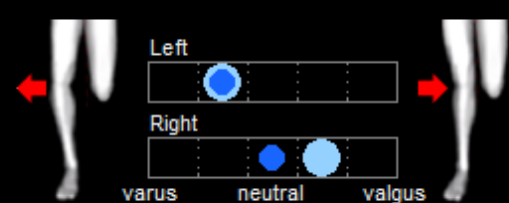
**55 mm**  
58 mm



Knee Alignment @ mid-stance

Left: **-0.1°**  
-0.4°

Right: **3.2°**  
1.7°

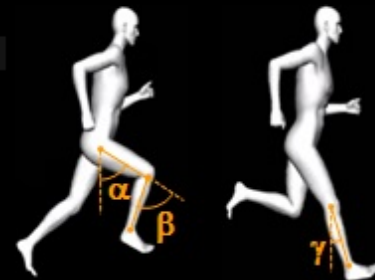


## Sagittal Plane Parameters

	Mean (Left/Right)	ref. Mean (L/R)	Elite Mean	diff Elite
Max Thigh Flexion [deg]	46.0 (44.7/47.2)	47.2 (46.8/47.6)	44.9	1.1
Max Thigh Extension [deg]	39.6 (36.3/42.9)	36.4 (36.4/36.4)	35.0	4.6
Shank angle @ touch-down [deg]	2.0 (2.5/1.4)	4.0 (3.2/4.8)	4.5	-2.5
Knee Flexion @ touch-down [deg]	23.2 (21.6/24.9)	22.4 (22.8/22.0)	17.8	5.4
Max Knee Flexion @ stance [deg]	43.4 (41.1/45.6)	40.9 (40.7/41.1)	37.7	5.6
Max Knee Flexion @ swing [deg]	135.2 (138.0/132.4)	137.5 (137.1/138.0)	124.0	11.2

Symmetry Rating

★★★★☆ ★★★★★

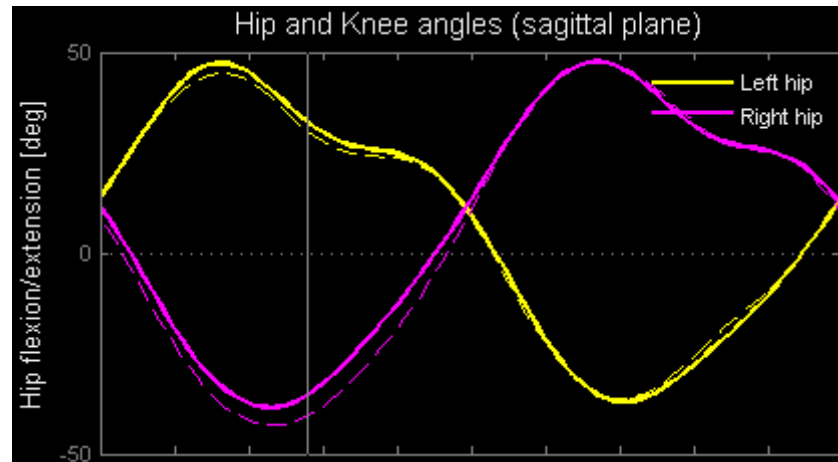


$\alpha$  = Hip flex/ext  
 $\beta$  = Knee flexion  
 $\gamma$  = Shank angle

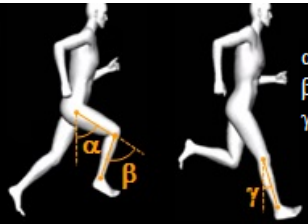
# Prova con nuove tecnologie



# Tutore stabilizzazione d'anca MOVE ON



Sagittal Plane Parameters	Mean (Left/Right)	ref. Mean (L/R)	Elite Mean	diff Elite
Max Thigh Flexion [deg]	47.4 (47.2/47.5)	46.0 (44.7/47.2)	44.9	2.5
Max Thigh Extension [deg]	37.8 (37.1/38.5)	39.6 (36.3/42.9)	35.0	2.8
Shank angle @ touch-down [deg]	3.5 (3.4/3.6)	2.0 (2.5/1.4)	4.5	-1.0
Knee Flexion @ touch-down [deg]	22.8 (22.6/23.1)	23.2 (21.6/24.9)	17.8	5.0
Max Knee Flexion @ stance [deg]	43.3 (42.2/44.4)	43.4 (41.1/45.6)	37.7	5.6
Max Knee Flexion @ swing [deg]	133.9 (135.1/132.8)	135.2 (138.0/132.4)	124.0	10.0
Symmetry Rating	★★★★★	★★★★☆		



$\alpha$  = Hip flex/ext

$\beta$  = Knee flexion

$\gamma$  = Shank angle



# Conclusioni

- ▶ Sistema Zebris e MotionMetrix sono un valido ed oggettivo aiuto per capire le criticità della biomeccanica di corsa dell'atleta;
- ▶ Servono, in un contesto di equipe medica-sportiva, a porre le basi di un serio lavoro di riabilitazione e/o di potenziamento;
- ▶ Garantiscono un follow-up dell'atleta mantenendo le stesse condizioni di valutazione;
- ▶ Possono essere usati per valutare, con dati oggettivi, l'efficacia di nuovi prodotti e quando è necessario usarli a seconda della necessità del corridore

# Grazie per l'attenzione



**A. PESSINA**  
Ortopedia  
Convenzionato ATS - INAIL