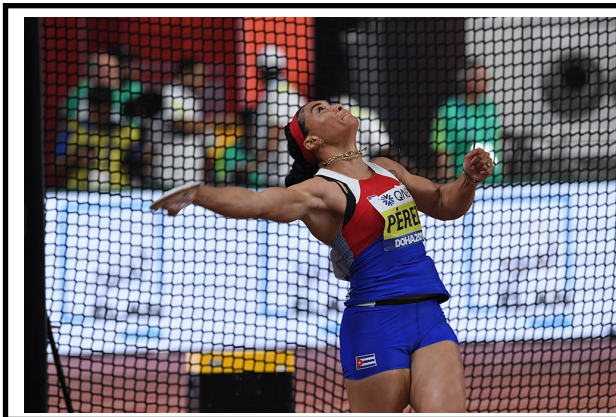


Ma quante arie si dà il disco?

Analisi biomeccanica e aerodinamica del lancio del disco femminile ai campionati mondiali di Doha 2019

Il podio



Pérez Yaimé (Cuba)

Oro con 69,17

Nata nel 1991

Altezza 172 cm.—peso 80 kg.

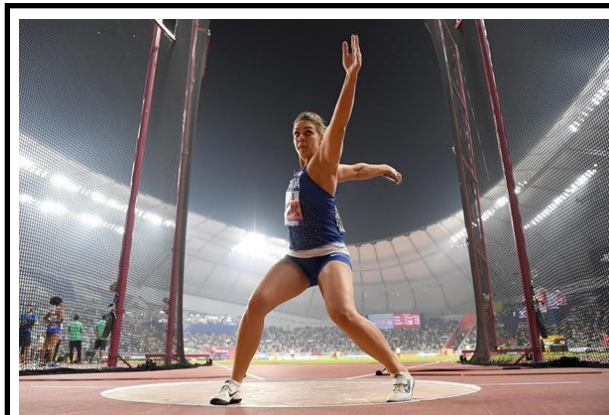


Caballero Denia (Cuba)

Argento con 68,44

Nata nel 1990

Altezza 175 cm.—peso 70 kg.



Perkovic' Sandra (Croazia)

Bronzo con 66,72

Nata nel 1990

Altezza 180 cm.—peso 85 kg.

Prof. Stefano Grosselle

INDICE

Indice	2
Introduzione	3
Le fasi del lancio	4
Record mondiali e record italiani	5
I parametri biomeccanici	6
I parametri biomeccanici aggiuntivi al lancio del disco	7
Analisi biomeccanica mondiali disco femminile di Doha 2019	9
Analisi aerodinamiche	16
Conclusioni	21
Ringraziamenti	22
Bibliografia	22

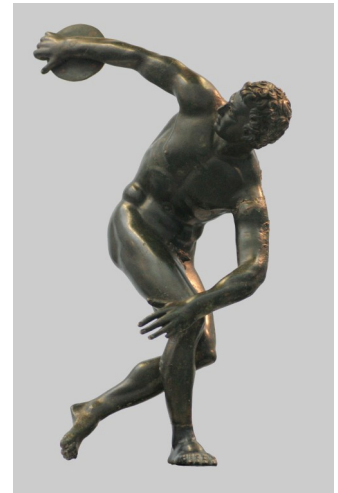
INTRODUZIONE

Il lancio del disco è da sempre stato riconosciuto come una delle specialità più affascinanti dell'atletica leggera e dello sport in generale, e le discussioni tecniche su questa disciplina sono sempre state molto stimolanti. A ciò contribuisce, e non poco, la ricca e prolungata storia che ha alle spalle.

Infatti il lancio del disco, come specialità olimpica, è già presente sin dalle primissime edizioni dei giochi olimpici antichi (prima edizione 776 a.C.), e precisamente dal 704 a. C., dove fu inserito all'interno della gara di pentathlon. L'emblema della classicità del lancio del disco è la celeberrima scultura del "discobolo di Mirone" risalente al V secolo a.C.

Ai giochi olimpici dell'era moderna, il lancio del disco maschile compare da subito già nella prima edizione di Atene 1896, e quello femminile invece, viene introdotto alla IX edizione di Amsterdam 1928.

Quindi possiamo affermare che è una specialità antichissima dal fascino inconfutabile, dovuto sicuramente alla fluidità e all'eleganza del gesto tecnico, che andando a contrapporsi alla forza e alla velocità di esecuzione, esaltano le capacità coordinative e condizionali più difficoltose della motricità umana.



Discobolo di Mirone

Questa specialità, come evidenziato dal prof. Angius (Tirrenia 2017, corsi per formatori regionali), occupa il terzo posto, per livello di difficoltà coordinativa, nella classifica degli sport olimpici redatta dal Ministero dello sport dell'URSS prima del 1980.

Nella citata classifica di difficoltà coordinativa, il lancio del disco infatti, viene preceduto solo dai tuffi dalla piattaforma di 10 metri e dal corpo libero della ginnastica artistica, difficoltà dovute maggiormente a:

- ◆ Completa aciclicità del gesto (movimenti che non si ripetono mai durante il lancio);
- ◆ Movimento rotazionale (impegnando notevolmente l'apparato vestibolare per l'equilibrio e l'orientamento nello spazio);
- ◆ Difficoltà di presa dell'attrezzo (in quanto viene poggiato e non trattenuto dalla mano);
- ◆ Fattori aerodinamici (di cui parlerò ampiamente più avanti).

L'indagine è stimolata anche da una curiosità tecnica da soddisfare, e cioè comprendere perché alcuni lanci, eseguiti anche da atleti di elevata qualificazione, non raggiungono i risultati metrici attesi, considerando che paiono aver rispettato i canoni biomeccanici universalmente accettati. Pertanto questo lavoro vuole fornire una chiave di lettura che possa spiegare questo gap prestativo.

Nulla di più significativo avrebbe potuto trovare riscontro nell'analisi del miglior lancio delle prime tre atlete classificate ai mondiali di Doha 2019, ultima competizione planetaria, dove sono emersi dati molto interessanti, che potrebbero indurre noi allenatori a riconsiderare la "scala delle priorità" nella preparazione tecnica dei discoboli.

A questo punto, prima di iniziare l'analisi dettagliata dei lanci "mondiali", si rende necessaria fare una *prima premessa tecnica*, e cioè citare la **tecnica** e le relative **fasi del lancio**; per passare alla *seconda premessa tecnica*, e cioè quella riguardante i **parametri biomeccanici** che determinano la gittata dei lanci.

LE FASI DEL LANCIO

La **tecnica** e le relative **fasi del lancio**, che in una visione semplicistica e didatticamente scolastica, si suddividono, per un destrimane, in:

1. **Preliminare/I** (iniziare con una rotazione del busto verso destra con le braccia distese);
2. **Giro** (rotazione verso sinistra in senso antiorario del sistema composto da atleta-attrezzo);
3. **Finale** (arrivo con entrambi i piedi a terra ed imprimere forza ed accelerazione al rilascio del disco);
4. **Recupero** (eventuali movimenti per non uscire dalla pedana dopo il rilascio, evitando il “nullo”).

Ma in una visione tecnicamente più evoluta, le fasi si possono suddividere, sempre per un destrimane, in:

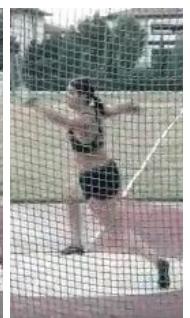
1. **Preliminare/i.** Da una posizione di doppio appoggio a terra, il busto ruota da sinistra a verso destra a braccia in fuori per creare la forza centrifuga necessaria a mantenere il disco attaccato al palmo della mano, (in considerazione del fatto che l'attrezzo non è “afferrato” ma semplicemente poggiato sulle ultime falangette), e inoltre, per creare il giusto ritmo per la fase successiva;



2. **Partenza.** Inizia dal punto di massima torsione raggiunta a destra, fino al distacco del piede destro da terra, spostando il peso del corpo sul piede sinistro e cercando di far acquisire velocità al sistema, ruotando intorno all'asse longitudinale del corpo dell'atleta;



3. **Perno sinistro.** Inizia dal distacco del piede destro e termina al distacco del piede sinistro dalla pedana dopo aver ruotato, facendo passare il piede destro molto largo e a semicerchio cercando di “tenere” con l'anca sinistra senza fletterla, ciò per consentire un'adeguata velocità di rotazione e un corretto avanzamento in pedana. L'asse di rotazione, perpendicolare al terreno, passa sul piede sinistro;



4. **Fase di volo.** Inizia dal distacco del piede sinistro e termina con l'arrivo del piede destro al centro pedana, per consentire un incremento dell'anticipo dell'asse dei piedi su quello delle anche, delle spalle e del braccio lanciaante, aumentando così la tanto ricercata “torsione”, che rappresenta uno degli elementi tecnici cruciali per la buona riuscita del lancio;



LE FASI DEL LANCIO

5. **Perno destro.** Inizia dall'arrivo del piede destro (all'incirca al centro pedana), che prosegue con la rotazione dello stesso verso il settore di lancio e termina con l'arrivo del piede sinistro a terra. L'efficacia dell'esecuzione di questo particolare tecnico consentirà il raggiungimento della massima torsione del corpo acquisendo una vantaggiosa posizione di "potenza";



6. **Finale.** Inizia dal momento in cui entrambi i piedi sono a contatto con il terreno ed il corpo in torsione, e termina con il rilascio dell'attrezzo, dopo averlo accelerato adeguatamente, facendolo passare su una naturale orbita ampia e circolare;

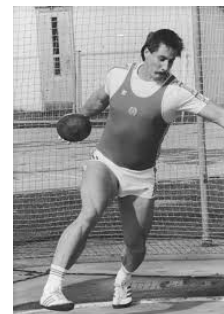


7. **Fase di recupero.** Vale a dire l'insieme dei movimenti che devono essere eseguiti per riconquistare l'equilibrio per non incorrere nel "nullo" di pedana. Questa è una fase che non partecipa alla prestazione, ma permette di convalidare il lancio. Molti atleti che eseguono il finale con i piedi a terra non hanno necessità di eseguire movimenti compensativi particolari, a differenza di quelli che usano fare il cambio piede.



RECORD MONDIALI & RECORD ITALIANI

* Mondiale femminile: **Gabriele Reinsch** (DDR), stabilito a Neubrandenburg il 09 luglio 1988 con **76,80 mt.**



* Mondiale maschile: **Jürgen Schult** (DDR), stabilito a Neubrandenburg il 06 giugno 1986 con **74,08 mt.**

* Italiano femminile: **Agnese Maffei** (Snam San Donato), stabilito a Milano il 12 giugno 1996 con **63,66 mt.**

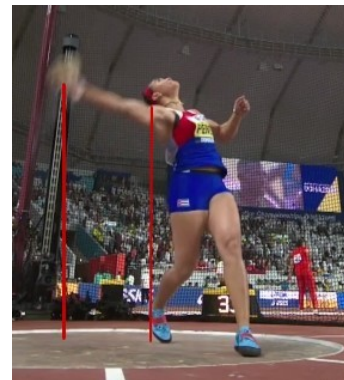


* Italiano maschile: **Marco Martino** (Fiamme Gialle), stabilito a Spoleto il 28 maggio 1989 con **67,62 mt.**

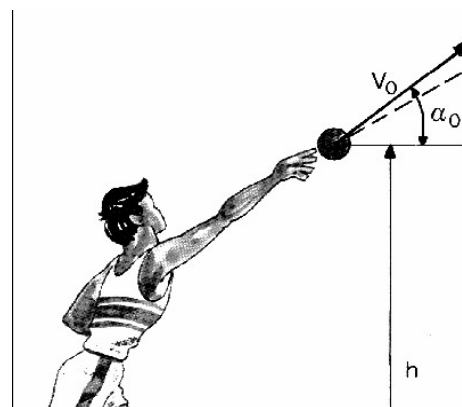
I PARAMETRI BIOMECCANICI

Secondo le leggi della fisica, è possibile affermare che i parametri, comuni a tutti e quattro lanci, che determinano la gittata di un qualunque oggetto lanciato, sono:

1. **altezza di rilascio**, parametro variabile ma che tende a valori “finiti”, in quanto strettamente legato alle caratteristiche morfologiche dell’atleta, nel disco è approssimativamente pari all’altezza della spalla del braccio lanciaante. Su questo parametro non ci sono margini di manovra significativi, che può essere comunque leggermente influenzato con l’esecuzione del finale, perciò saranno avvantaggiati discoboli alti e con braccia lunghe;



2. **angolo di rilascio**, cioè l’angolo formato dalla linea orizzontale del terreno con la linea obliqua della traiettoria di rilascio, anch’esso è un parametro variabile ma che tende a valori “finiti”, in quanto strettamente legato all’esecuzione tecnica del lancio. L’angolo ideale, secondo la letteratura del disco, si aggira tra i 35° e i 37°, con vento nullo o quasi, e perciò angoli lontani da questi valori, penalizzano la gittata stessa. Nella determinazione dell’angolo di rilascio, l’atleta si trova di fronte ad un compromesso tecnico tra l’angolo stesso e la velocità di rilascio. Infatti le caratteristiche biomeccaniche ed antropometriche del lanciaante fanno sì che un lancio più “piatto” permetta un lavoro muscolare migliore; quindi la ricerca di un angolo di rilascio leggermente inferiore è super-compensata da una velocità di rilascio maggiore, ma a scapito di una parabola di volo meno produttiva. A questo si aggiungono vantaggi aerodinamici addizionali in presenza di vento;



3. **velocità di rilascio**, parametro variabile che tende teoricamente a valori “infiniti”, in quanto influenzabile sia dalla tecnica di lancio, che dal miglioramento delle capacità condizionali. Il suo incremento è l’obiettivo principale nei lanci e per la sua realizzazione oltre che all’allenamento rivolto al miglioramento delle qualità fisiche, è fondamentale una proficua tecnica di lancio secondo canoni biomeccanici imprescindibili, proprio per utilizzare al massimo le qualità condizionali senza “dispersioni” di energia in movimenti inutili o addirittura controproducenti. Nella tabella a lato, si può notare un esempio di gittata in relazione alla velocità di rilascio del disco, espressa sia in m/s che in km/h.

Distanza di lancio In metri	Velocità di rilascio m/s	Velocità di rilascio km/h
70	25	90

I PARAMETRI BIOMECCANICI AGGIUNTIVI AL LANCIO DEL DISCO

Essendo il disco, così come il giavellotto, un attrezzo il cui volo viene è fortemente influenzato da fattori aerodinamici, si rende necessario considerare ulteriori parametri, in aggiunta a quelli appena esposti. Essi sono:

CARATTERISTICHE AERODINAMICHE DEL DISCO

Le caratteristiche costruttive dell'attrezzo, pur restando nei parametri di omologazione World Athletics, possono variare, ad esempio lo spessore esterno dell'anello e il tipo di metallo impiegato, così come il materiale utilizzato per le "guance" nei vari tipi di dischi prodotti dalle ditte presenti sul mercato. La tendenza a distribuire il peso dell'attrezzo il più possibile sul bordo esterno, è giustificata dalla ricerca di una più elevata velocità di rotazione del disco in volo sul proprio asse longitudinale (effetto Magnus). L'uso di materiali, come la fibra di carbonio, persegue invece il fine di ridurre l'attrito con l'aria. In contrapposizione ai dischi di buona fattura appena menzionati, esistono anche dischi di gomma da allenamento, che non rispondono assolutamente a quanto detto. Giova comunque sottolineare che le diverse caratteristiche costruttive dei dischi non influiscono la tecnica esecutiva del gesto atletico.



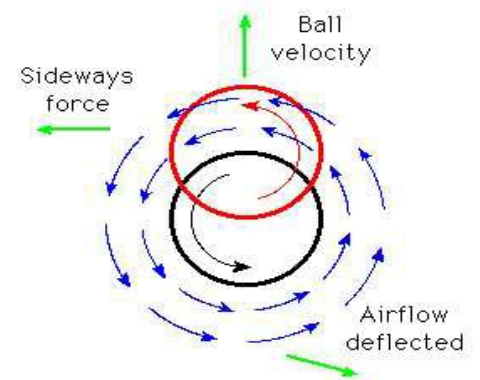
disco di gomma da allenamento

FATTORI AMBIENTALI

La densità dell'aria dovuta all'umidità e all'altitudine è una condizione variabile secondo le stagioni e il luogo della competizione. Ovviamente questi fattori hanno un'incidenza prestativa (misura del lancio) dove i fattori ambientali possono essere eterogenei, ma non sulla resa agonistica (confronto con gli avversari), in quanto detti fattori sono omogenei.

L'EFFETTO MAGNUS (Heinrich Gustav Magnus 1802-1870)

Magnus era un chimico e fisico tedesco che ha studiato il comportamento dei corpi in volo e, in sintesi, aveva messo in luce un aspetto importantissimo: un corpo a parità di velocità di rilascio, ma con una maggiore velocità di rotazione sul proprio asse longitudinale, percorre una distanza maggiore grazie ad una migliore stabilità di volo. Ciò dovuto al vortice di aria generato intorno a se rendendo la stessa aria più leggera un attimo prima che il corpo traslasse al suo interno. La forza prodotta da questo effetto produrrebbe una portanza maggiore (legge di Bernoulli), del tutto simile a quella generata dall'ala di un aereo. Vorrei sottolineare l'estrema importanza dell'effetto Magnus sul lancio, perché un suo efficace sfruttamento produrrebbe vantaggi considerevoli. Questo, inoltre, risulta essere una variabile su cui si può fattivamente lavorare tecnicamente, a differenza dei fattori climatici e delle caratteristiche costruttive del disco. Infatti la ricerca da parte del discobolo di un finale di lancio più largo e più rotondo possibile dell'arto lanciante, abbinato ad un corretto lavoro della mano, produce inevitabilmente un positivo effetto giroscopico maggiore. L'esempio della figura a lato è riferita ad un lanciatore mancino.

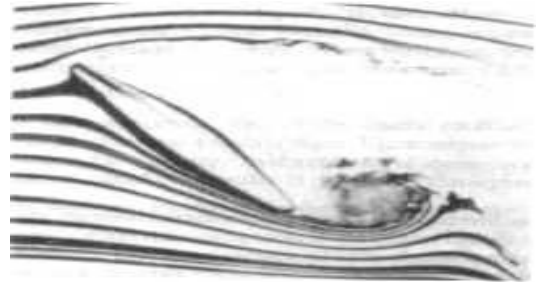


I PARAMETRI BIOMECCANICI AGGIUNTIVI AL LANCIO DEL DISCO

Oltre all'effetto Magnus, di straordinaria importanza sono anche l'angolo di attacco o di incidenza e l'angolo di assetto, ma prima occorre un doveroso chiarimento fisico, e cioè che grazie alla forma che presenta il disco, esso una volta lanciato non descrive una normale curva parabolica, perché subisce la resistenza dell'aria anteriormente, posteriormente e ai lati.

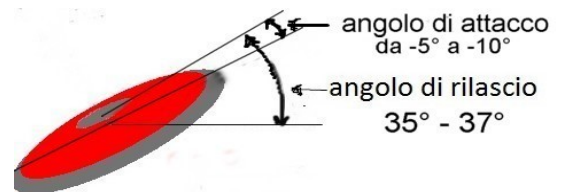
Si rammenta che la resistenza dell'aria è l'attrito che l'aria stessa imprime al disco in modo tale che esso perda energia cinetica e quindi velocità.

Pertanto, anteriormente al disco si formerà una zona di alta pressione, mentre posteriormente ad esso si formerà una zona turbolosa a causa di un raccoglimento irregolare dell'aria, causando una depressione. L'energia cinetica prodotta da questa depressione crea un effetto che potremmo paragonare, giusto per rendere intuitivo il concetto, a quello di una ventosa applicata sulla parte posteriore del disco, ed è questa che causa resistenza all'avanzamento dell'attrezzo, come nell'esempio dell'immagine a lato. E' chiaro quindi che intervenendo sulla posizione del disco in volo (angolo di attacco), l'entità delle turbolenze può variare di molto, con tutte le conseguenze della performance.

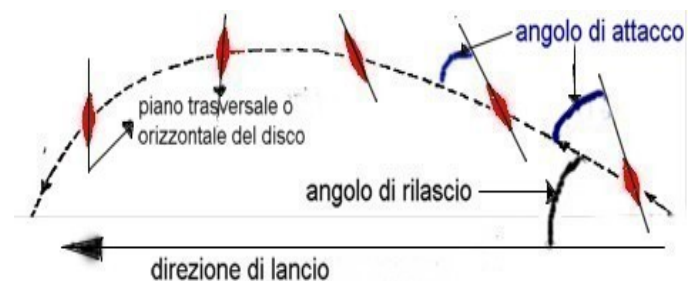
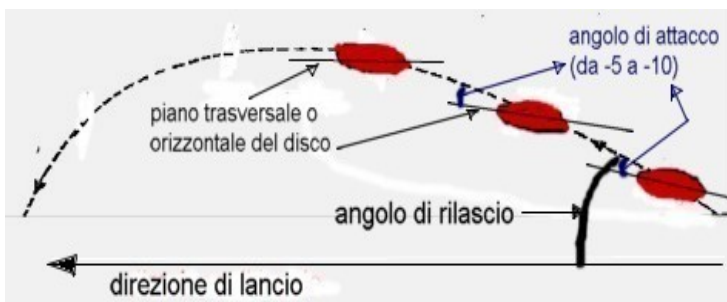


ANGOLO DI ATTACCO O DI INCIDENZA

E cioè l'angolo formato dal piano trasversale o orizzontale del disco con l'angolo di rilascio, che può essere positivo o negativo. Per il lancio del disco dovrà essere sempre negativo e in condizione di assenza di vento, esso dovrà essere compreso tra i -5° e -10° per essere funzionale e produttivo ai fini metrici, come da figura a lato (in presenza di vento contrario alla direzione di lancio, l'angolo dovrà essere ancora più negativo).

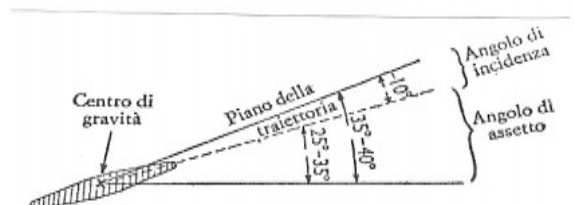


In basso a sinistra si può vedere un esempio di angolo di attacco corretto, che permette al disco di planare nella fase discendente della parabola, mentre la figura in basso a destra, raffigura un esempio di angolo errato (positivo), dove il disco viene decisamente frenato dall'aria nella fase discendente della citata parabola.



ANGOLO DI ASSETTO

E' la differenza tra l'angolo di rilascio e l'angolo di attacco, per esempio, se l'angolo di uscita o rilascio è di 35° e l'angolo di attacco o di incidenza è pari a -10° , la risultante sarà di un angolo di assetto pari a 25° , come evidenziato nella figura a lato.



ANALISI BIOMECCANICA MONDIALI DISCO FEMMINILE DI DOHA 2019

A questo punto, fatte le dovute premesse tecniche, e cioè le **fasi del lancio** e i **parametri biomeccanici** che determinano la gittata dei lanci, passiamo all'analisi cinematica e dinamica delle tre lanciaatrici che sono salite sul podio ai mondiali di Doha 2019, per poi concludere con delle considerazioni aerodinamiche.

1^ FASE — PRELIMINARE

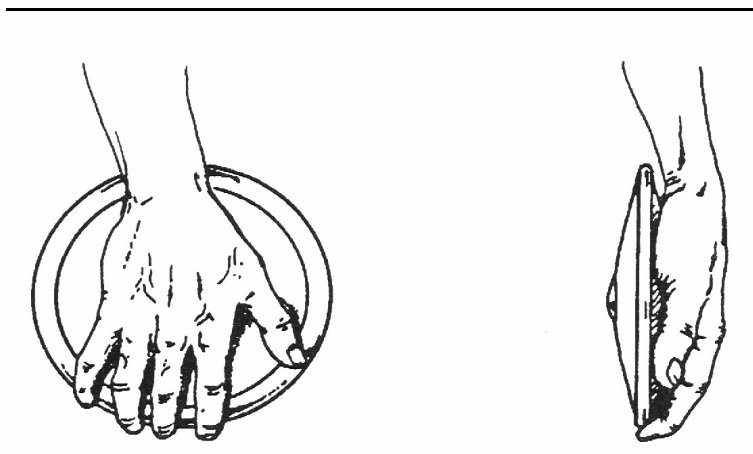


Il preliminare o i preliminari, come già detto, servono a:

1. creare quel minimo di forza centrifuga per permettere al disco di restare “attaccato alla mano” in posizione pronata, in considerazione del fatto che esso è solo poggiato sulle falangette (come da immagine sotto);
2. ottenere una giusta stabilità ed equilibrio per la fase successiva di partenza;
3. creare inoltre torsione tra asse delle spalle e asse delle anche e tra braccio e asse delle spalle;
4. raggiungere una corretta decontrazione nella parte superiore del corpo;
5. Impostare il giusto ritmo di partenza

Vengono eseguiti più o meno allo stesso modo da tutti gli atleti, anche se si riscontrano delle personalizzazioni.

Pertanto non si ritiene importante analizzare dinamicamente questa prima fase, perché ininfluenza o minimamente influente per la lunghezza del lancio.



ANALISI BIOMECCANICA MONDIALI DISCO FEMMINILE DI DOHA 2019

2^a FASE— PARTENZA (da massima torsione, al distacco del piede destro da terra)



PEREZ



CABALLERO

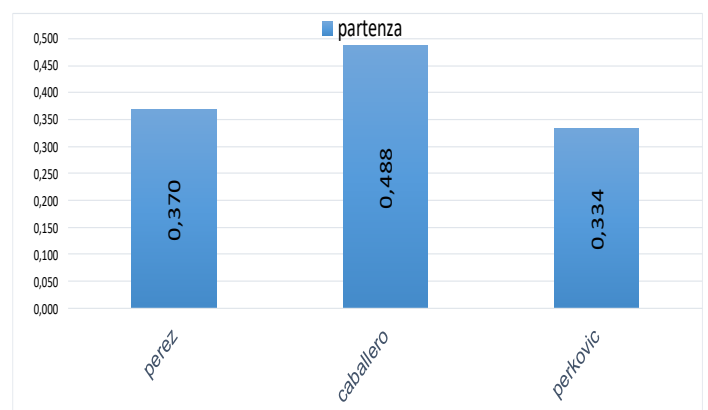


PERKOVIC

I rispettivi tempi impiegati per questa fase sono:

- ⇒ PEREZ 0,370 sec
- ⇒ CABALLERO.. 0,488 sec
- ⇒ PERKOVIC..... 0,334 sec

Si nota subito che il tempo impiegato dalla Caballero è decisamente superiore a quello delle due avversarie, che invece tra loro sono abbastanza simili. La Perkovic risulta la più veloce.



ANALISI BIOMECCANICA MONDIALI DISCO FEMMINILE DI DOHA 2019

3^a FASE— PERNO SINISTRO (dal distacco del piede destro, al distacco del piede sinistro)



PEREZ



CABALLERO

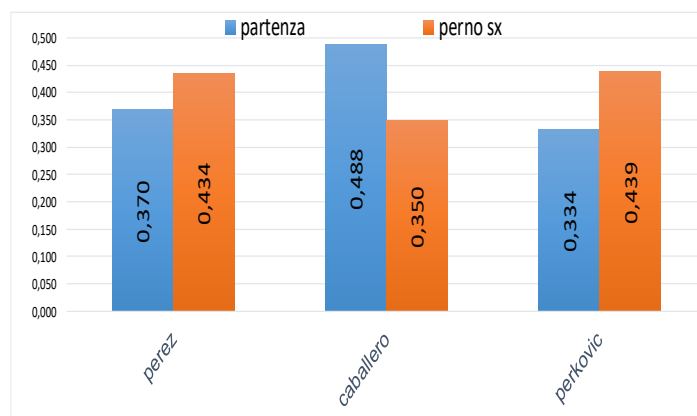


PERKOVIC

I rispettivi tempi impiegati per questa fase sono:

- ⇒ PEREZ 0,434 sec (totale 0,804 sec)
- ⇒ CABALLERO.. 0,350 sec (totale 0,838 sec)
- ⇒ PERKOVIC..... 0,439 sec (totale 0,773 sec)

In questa fase si evidenzia la maggiore velocità della Caballero che va a recuperare la "lentezza" relativa della partenza. La Perkovic nel totale risulta essere ancora l'atleta più veloce



ANALISI BIOMECCANICA MONDIALI DISCO FEMMINILE DI DOHA 2019

4^a FASE— FASE DI VOLO (dal distacco del piede sinistro, all'arrivo del piede destro a terra)



PEREZ



CABALLERO



PERKOVIC

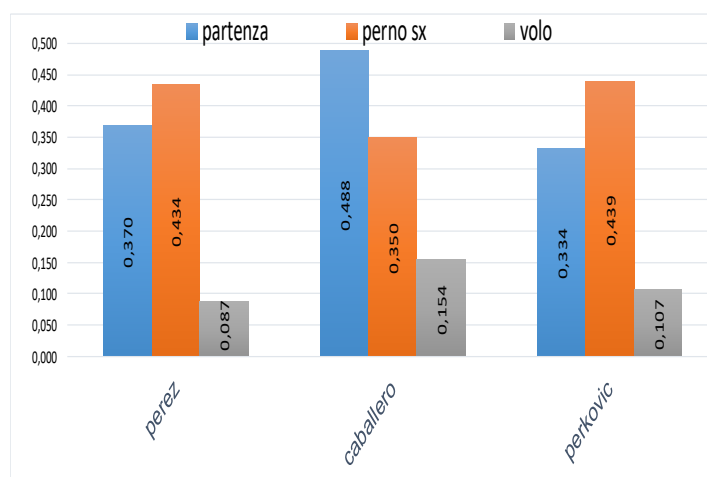
I rispettivi tempi impiegati per questa fase sono:

⇒ PEREZ 0,087 sec (totale 0,891 sec)

⇒ CABALLERO.. 0,154 sec (totale 0,992 sec)

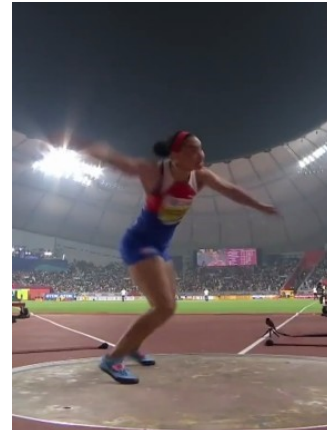
⇒ PERKOVIC..... 0,107 sec (totale 0,880 sec)

In questa fase invece, si evidenzia la maggiore velocità della Perez, anche se apparentemente pare esegua un volo più “saltato” con aiuto dello slancio delle braccia, ma riduce il tempo di volo con la ricerca attiva del piede destro al centro pedana. La Perkovic nel totale risulta essere sempre la più veloce, con 880 millesimi.

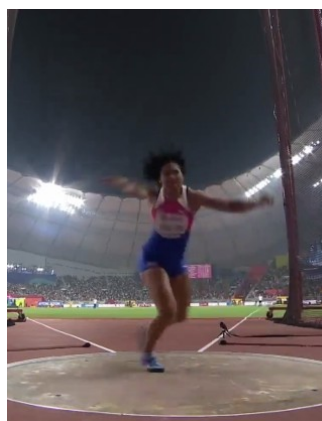


ANALISI BIOMECCANICA MONDIALI DISCO FEMMINILE DI DOHA 2019

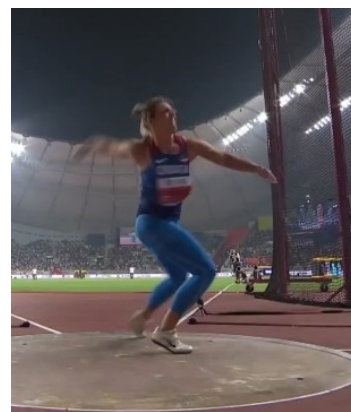
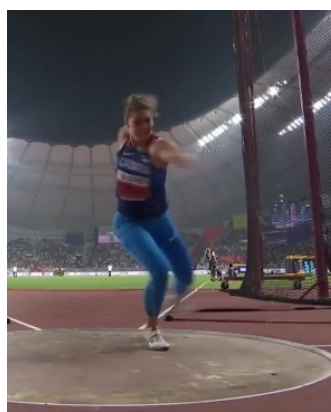
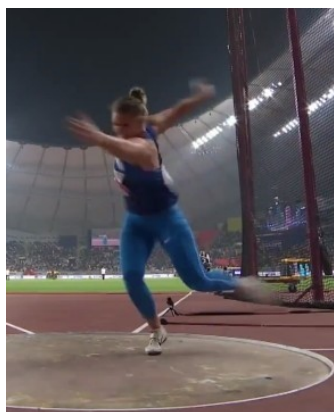
5^ FASE— PERNO DESTRO (dall'arrivo del piede destro al centro pedana, ad arrivo del piede sinistro a terra)



PEREZ



CABALLERO



PERKOVIC

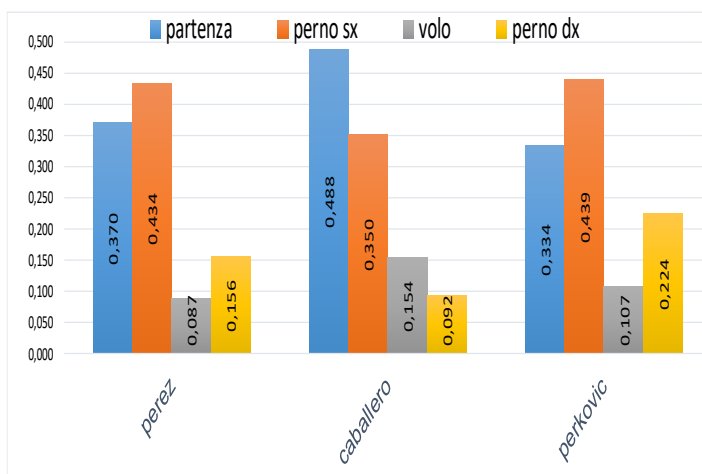
I rispettivi tempi impiegati per questa fase sono:

⇒ PEREZ 0,156 sec (totale 1,047 sec)

⇒ CABALLERO.. 0,092 sec (totale 1,084 sec)

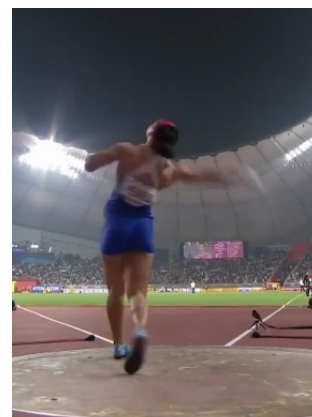
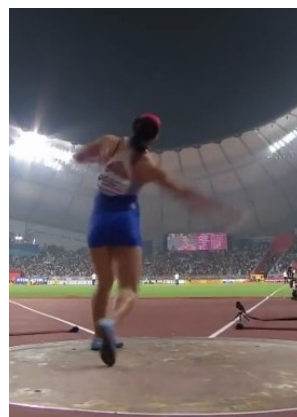
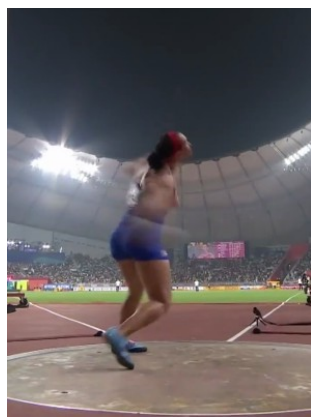
⇒ PERKOVIC..... 0,224 sec (totale 1,104 sec)

In questa fase, si nota la maggiore velocità della Caballero, che risulta decisamente più veloce delle altre concorrenti nel raggiungere la fase di doppio appoggio. Di contro la Perkovic, molto lenta in questa fase con 224 millesimi, diventa adesso la meno veloce nel totale con 1,104 secondi. A questo punto del lancio la più veloce è la Perez con 1,047 secondi.

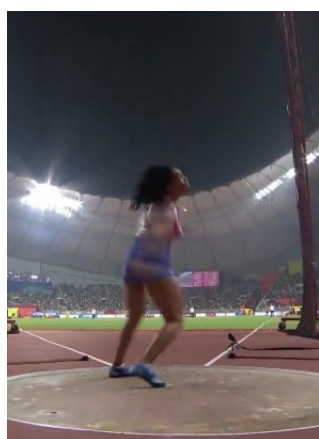


ANALISI BIOMECCANICA MONDIALI DISCO FEMMINILE DI DOHA 2019

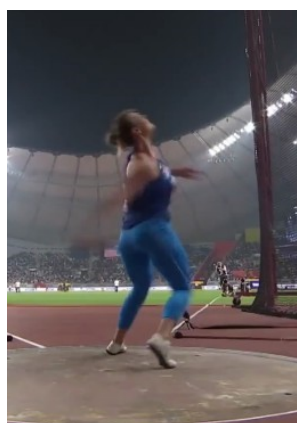
6^ FASE— FINALE (dall'arrivo di entrambi i piedi a terra, al rilascio del disco)



PEREZ



CABALLERO



PERKOVIC

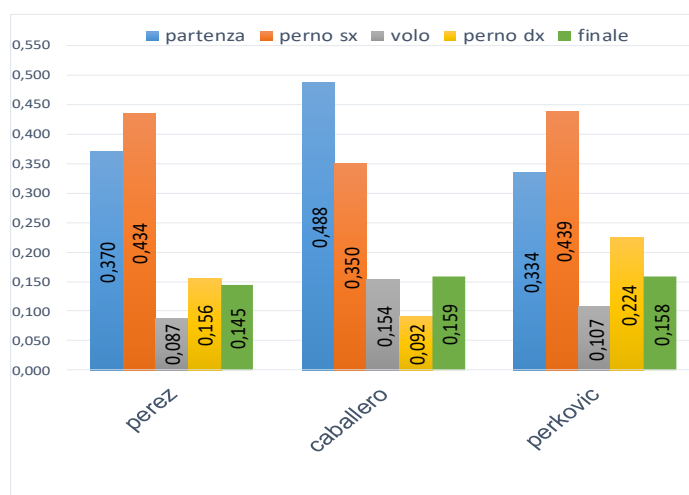
I rispettivi tempi impiegati per questa fase sono:

⇒ PEREZ 0,145 sec (totale 1,192 sec)

⇒ CABALLERO.. 0,159 sec (totale 1,243 sec)

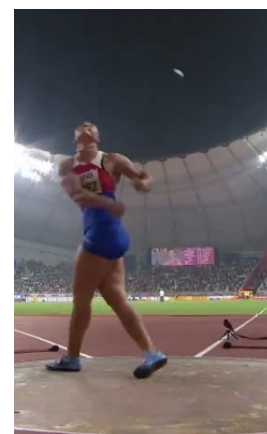
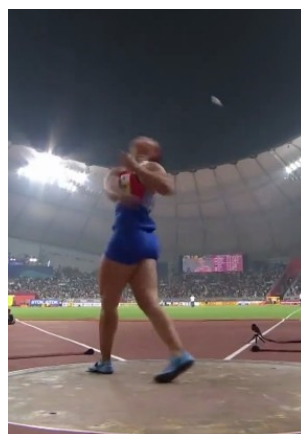
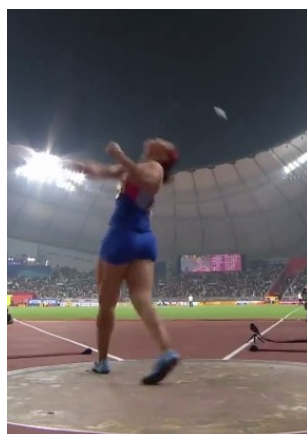
⇒ PERKOVIC..... 0,158 sec (totale 1,262 sec)

In questa fase, si nota la maggiore velocità della Perez, che risulta più veloce delle avversarie nell'eseguire il finale. La Perkovic, che esegue una rotazione ritardata del piede dx con tirata controproducente della spalla sx, risulta l'atleta che impiega più tempo nell'esecuzione del lancio completo. La più veloce è ancora la Perez con 1,192 secondi.

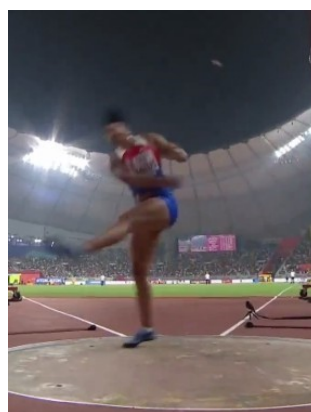


ANALISI BIOMECCANICA MONDIALI DISCO FEMMINILE DI DOHA 2019

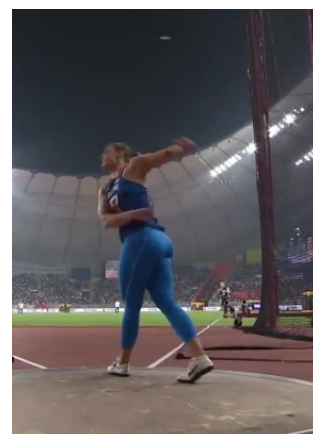
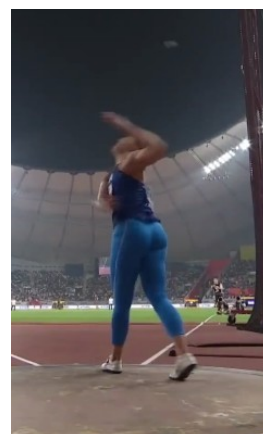
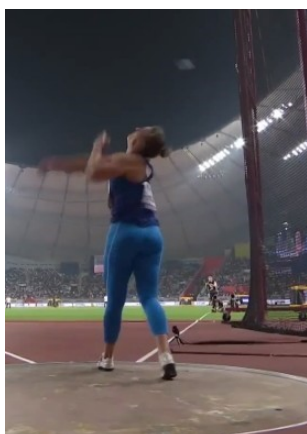
7^A FASE— RECUPERO



PEREZ



CABALLERO



PERKOVIC

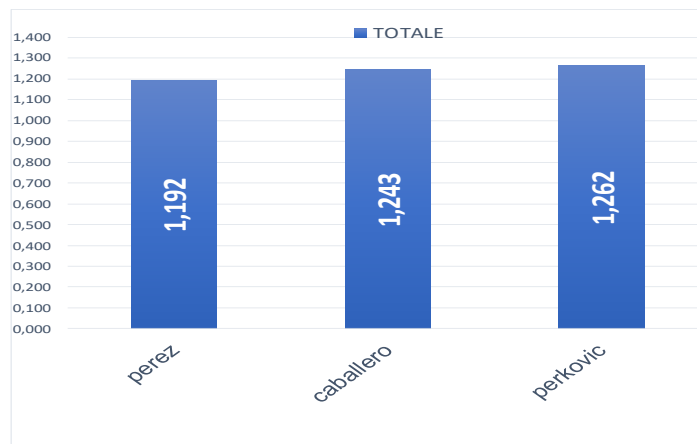
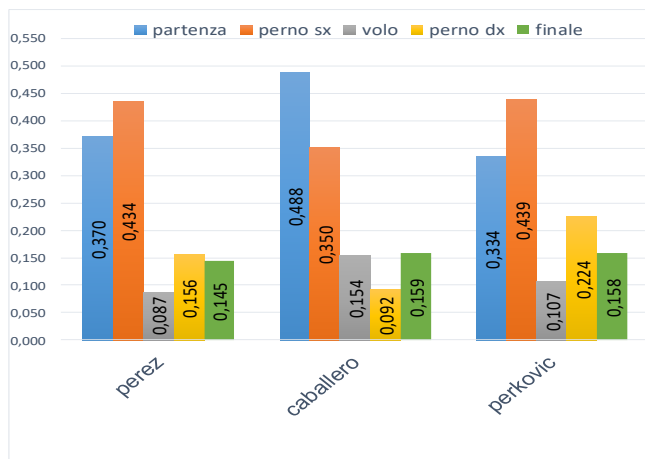
Il recupero serve a:

1. Ripristinare l'equilibrio del corpo a seguito di un finale di rilascio alla massima velocità di rotazione;
2. Contrastare le forze di reazione al suolo;
3. Assicurare la validità del lancio evitando il "nullo", cercando di restare all'interno della pedana che misura 2,50 metri di diametro.

L'esecuzione del recupero viene eseguito da ogni atleta con una tecnica e uno stile del tutto personalizzato, infatti nei fotogrammi sopra riportati, si nota come la PEREZ e la PERKOVIC, eseguendo un finale con entrambi i piedi a terra, svolgono il recupero con una "contro" torsione delle spalle verso sinistra, bloccando energicamente con l'arto inferiore sinistro, eseguendo così un efficace "blocco". La CABALLERO, invece, eseguendo un finale con il cambio, smorza l'energia cinetica continuando a girare sul piede destro una volta arrivato a terra. Pertanto non si ritiene importante analizzare dinamicamente quest'ultima fase, perché come detto prima, ininfluenza o minimamente influente per la lunghezza del lancio.

ANALISI AERODINAMICHE

Quindi, a seguito dell'analisi cinematica, attraverso i fotogrammi, e a seguito dell'analisi dinamica attraverso i tempi di impiego per ogni singola fase, diversi tra loro, è possibile concludere che si riscontrano delle differenze tecniche tra le tre atlete analizzate, anche se il tempo impiegato totale per eseguire l'intero lancio è simile, come si nota nei grafici sottostanti.



Si rilevano differenze tecniche ma tutte eseguono correttamente gli elementi tecnici cruciali per lanciare lontano. Consideriamo ora anche le velocità di rilascio e gli angoli di uscita del miglior lancio di ogni singola atleta salita sul podio agli ultimi mondiali di Doha 2019, attraverso i dati forniti dal sito <https://www.youtube.com/watch?v=S0YHQ1MC4gk&t=280s>, che sono:

	altezza dell'atleta	misura ottenuta	velocità di rilascio m/s	velocità di rilascio km/h	angolo di uscita
PEREZ	1,72	69,17	24,83	89,4	33,2
CABALLERO	1,75	68,44	24,03	86,5	37,0
PERKOVIC	1,80	66,72	25,00	90,0	36,7

Dalla tabella appena illustrata, i dati riportati sembrano in contraddizione con le prestazioni di gara effettivamente ottenute dalle atlete, infatti i parametri biomeccanici comuni a tutti i lanci, che determinano la lunghezza degli stessi, sono: l'altezza di rilascio e quella della Perkovic risulta la più alta; la velocità di rilascio e anche in questo aspetto la Perkovic risulta la migliore, poiché fa uscire il disco dalla mano ad una velocità maggiore delle avversarie; l'angolo d'uscita è ancora una volta quello del lancio della Perkovic si avvicina maggiormente a quello ottimale. Ma allora la domanda sorge spontanea, perché non ha vinto la gara? Evidentemente il motivo è da ricercare nei parametri aggiuntivi, quelli aerodinamici, precedentemente descritti.

Allora, trascurando le caratteristiche costruttive dei rispettivi dischi, e trascurando i fattori ambientali in quanto uguali per tutte le atlete partecipanti, perché trattasi della stessa manifestazione, non ci resta che analizzare l'effetto Magnus e l'angolo di attacco o incidenza.

ANALISI AERODINAMICHE

Effetto Magnus:

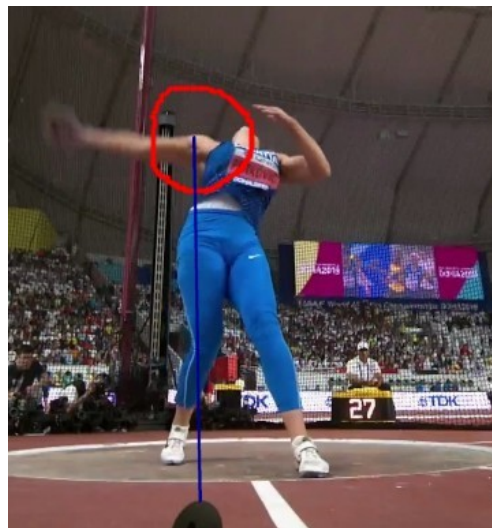
Purtroppo dalle riprese non riusciamo a capire con precisione quanta velocità giroscopica posseggono i dischi lanciati dalle varie atlete, possiamo solo supporre che la “tirata” di spalla sinistra della Perkovic nel finale, nonostante l’elevata velocità di rilascio, abbia ridotto il passaggio del disco su un’orbita ampia a destra, riducendo anche la rotazione del disco sul proprio asse longitudinale al rilascio dal dito indice, mentre sia la Perez che la Caballero “allungano” la spalla destra ottimizzando oltre che in ampiezza anche per le rotazioni del disco.



PEREZ



CABALLERO



PERKOVIC

Angolo di incidenza o attacco:

Purtroppo anche per questo parametro aggiuntivo, dai filmati non siamo in grado di definire con precisione i rispettivi valori, comunque per avere ulteriori indizi e per farci un’idea più rispondente possibile alla realtà, è utile osservare alcune fasi dei lanci da un’altra prospettiva, dove si può notare l’atteggiamento della mano destra delle atlete e di come viene tenuto il disco. Oltre a ciò è importante osservare anche la traiettoria e la posizione del disco in volo.

Perno sinistro



PEREZ



CABALLERO



PERKOVIC

ANALISI AERODINAMICHEFase di volo

PEREZ



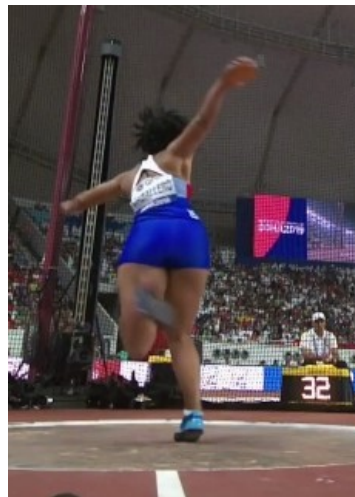
CABALLERO



PERKOVIC

Perno destro

PEREZ



CABALLERO



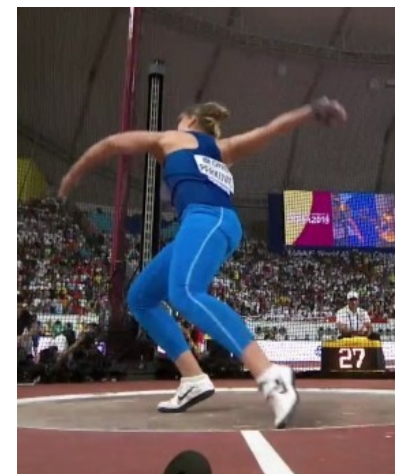
PERKOVIC

Arrivo in doppio appoggio o in posizione per il finale

PEREZ



CABALLERO



PERKOVIC

Senza entrare nei dettagli più sottili, ma solo per avere una visione più completa, si può notare che il disco viene portato, durante le varie fasi, in modo diverso dalle atlete, soprattutto dalla Perkovic, che in alcuni momenti va quasi a supinare la mano, incontrando, più avanti, eventuali problemi nel rimetterlo nella giusta posizione poco prima del rilascio.

ANALISI AERODINAMICHE

Volo del disco

Osservando la traiettoria del disco e analizzando le quote, si riesce meglio a comprendere l'angolo di assetto e a ricavare qualche indizio in più sull'angolo di attacco. Purtroppo non si riesce a capire la velocità di rotazione del disco come detto prima (effetto Magnus). Ciò permetterà di dare una giustificazione ai risultati raggiunti dalle tre atlete che nel 2019 erano le più forti al mondo.

Sono state estrapolate le immagini dai filmati effettuati da una telecamera fissa e posta nello stesso punto di ripresa per tutti e tre i lanci. Inoltre sono state scelte le immagini che ritraevano i rispettivi dischi passanti pressappoco per lo stesso punto. Da considerare un leggero margine di errore dovuto alle diverse gittate di lanci, anche se la differenza metrica tra esse è minima.

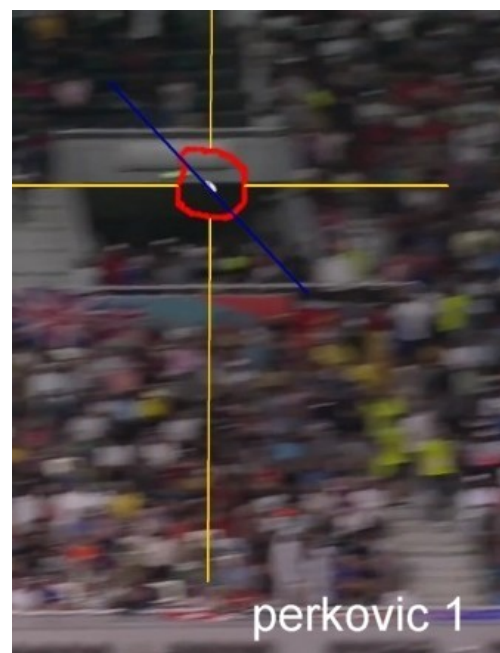
Primo fotogramma:

L'altezza dei dischi è decisamente diversa, il più basso della Perez e il più alto della Perkovic, dovuto ad un maggior angolo di uscita di quest'ultima rispetto alla prima ($36,7^\circ$ contro $33,2^\circ$), ma l'angolo più aperto è della Caballero ($37,0^\circ$), e il disco di quest'ultima passa più basso di quello della Perkovic, come mai?

La spiegazione potrebbe risiedere proprio per un angolo di attacco della Perkovic vicino allo 0° (ideale sarebbe tra -10° e -5°), corrispondente all'angolo di rilascio, ciò crea un angolo di assetto esageratamente aperto, che provoca, come detto prima, una turbolenza nella parte posteriore del disco, creando una depressione che riduce l'energia cinetica dello stesso, facendolo "impennare" e "rallentare" verso l'alto.

I fotogrammi sotto ne sono la testimonianza.

L'incrocio delle linee gialle rilevano l'altezza del disco, mentre la linea azzurra individua più o meno l'angolo di assetto.

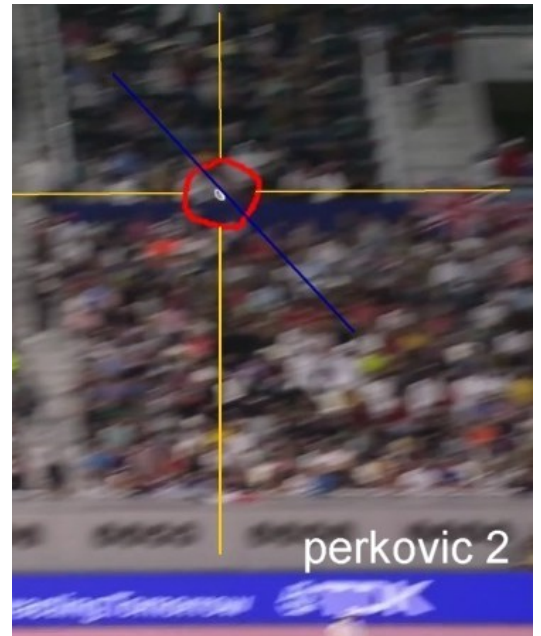
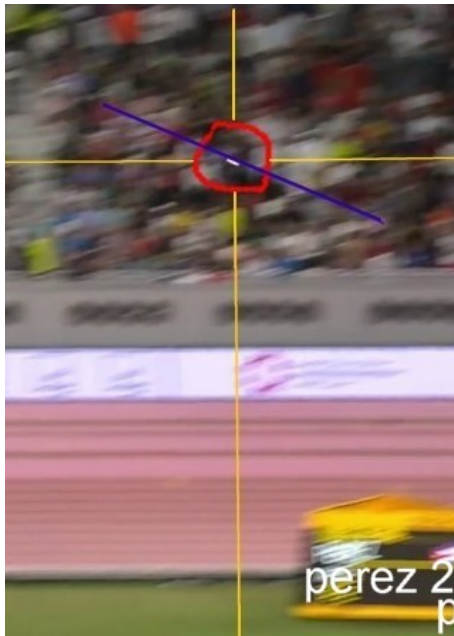


ANALISI AERODINAMICHE

Volo del disco

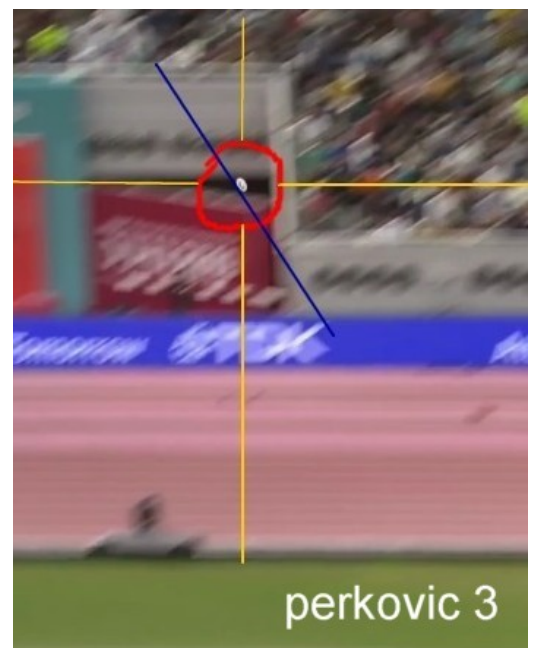
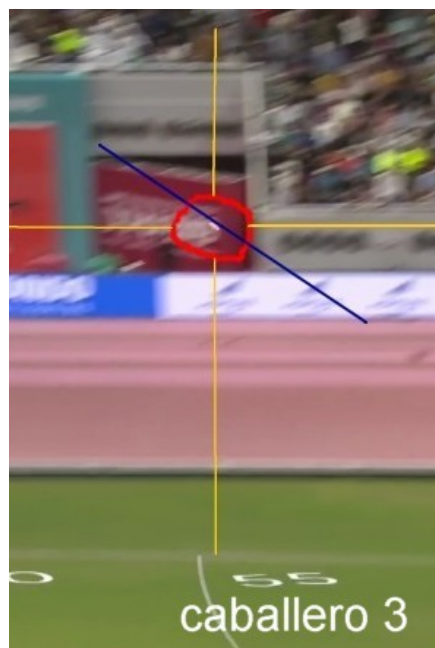
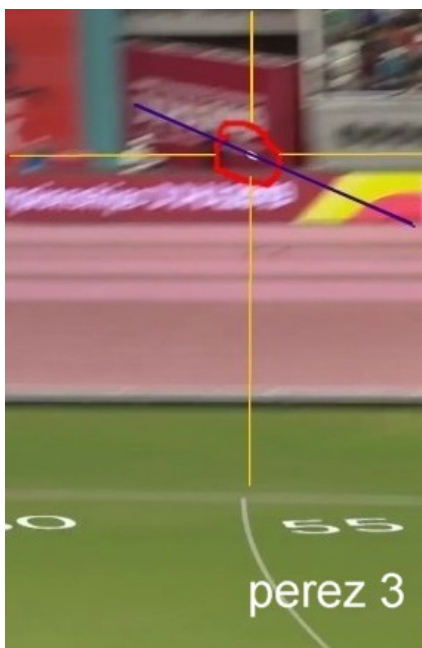
Secondo fotogramma:

Situazione analoga e si conferma quanto detto per il primo fotogramma



Terzo fotogramma:

Anche per il terzo fotogramma situazione analoga e si conferma quanto detto per il primo e secondo fotogramma, addirittura con il piano orizzontale del disco della Perkovic che si avvicina sempre più all'asse verticale

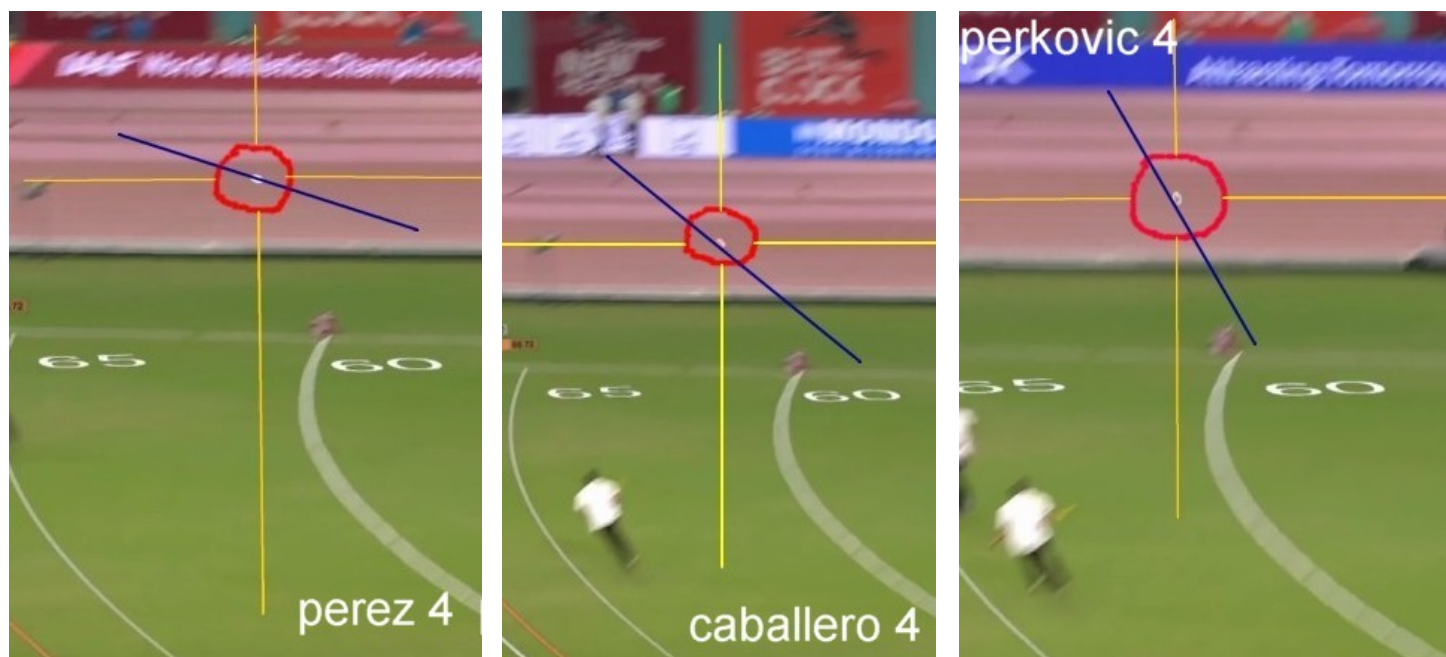


ANALISI AERODINAMICHE

Volo del disco

Quarto fotogramma:

Anche per il quarto fotogramma si conferma quanto detto prima, e ancora il piano orizzontale del disco della Perkovic si avvicina ancor di più all'asse verticale, mentre il volo del disco della Perez continua a possedere un angolo di assetto molto favorevole, forse dovuto anche all'elevata rotazione del disco sul proprio asse longitudinale (effetto Magnus)



CONCLUSIONI

Le considerazioni esposte hanno evidenziato l'importanza degli aspetti aerodinamici del lancio e del resto sono in accordo con le evidenze riscontrate sul campo. L'occhio esperto degli allenatori, affinato dall'esperienza e dall'aver osservato migliaia di lanci, sa cogliere intuitivamente la presenza o meno in ciascuna esecuzione dei suddetti aspetti, ma ho ritenuto opportuno suffragare l'esperienza maturata a bordo pedana con l'evidenza di queste immagini e con la sottolineatura degli elementi balistici e aerodinamici di riferimento.

In questo lavoro si ritiene pertanto di aver dato delle conferme alle evidenze da campo degli allenatori, e di aver magari dato qualche spunto di riflessione alla loro curiosità, ai loro dubbi e alle loro convinzioni tecniche. L'auspicio è che, sulla scia di queste osservazioni, possano nascere occasioni di approfondimento e di confronto, per il quale mi dichiaro disponibile fin da subito, e a tal proposito lascio il mio indirizzo mail: stefano.grosselle@alice.it, cogliendo infine, l'occasione per ringraziare anticipatamente con affetto il lettore.

RINGRAZIAMENTI

Nella speranza di non dimenticare nessuno, ma che per motivi di spazio e praticità, sinteticamente sento il piacere e il dovere di ringraziare principalmente:

- Le società sportive venete con cui collaboro e/o ho collaborato:
 - * **Assindustria sport Padova**
 - * **Atletica Riviera del Brenta**
 - * **Corpo Libero Athletics Team Padova**
 - * **Trevisatletica**
 - * **Cus Padova**
- **Tutti gli atleti** che hanno avuto ed hanno la pazienza di sopportarmi come allenatore
- **Emily Conte**, atleta di livello nazionale e internazionale, promessa del lancio del disco e del martello, che ho l'onore ed il piacere di allenare (illustrata nei fotogrammi al capitolo "le fasi del lancio")
- **Benedetti prof. Adriano**, collega stimatissimo e amico fraterno con cui condivido nozioni e consigli tecnici, nonché "gioie e dolori" agonistici
- **Gianni prof. Alberto**, docente di fisica presso ITT aeronautico Guglielmo Marconi di Padova
- Gli amici e colleghi allenatori dotati di elevata competenza ed instancabile passione per i lanci, dei quali nutro profonda stima, e a cui ho inviato in anteprima una bozza del presente lavoro, sia per un parere tecnico, che per utili suggerimenti e correzioni, che puntualmente mi sono stati forniti. In ordine alfabetico:
 - * **Agostini Enzo;**
 - * **Carli Silvia;**
 - * **Fortuna Diego**
 - * **Frigeni Alessandro;**
 - * **Mozzi Marco;**
 - * **Previtali Sergio;**
 - * **Saccon Pierpaolo**
 - * **Serafin Emanuele;**
- Un ringraziamento particolare per la sua infinita disponibilità, entusiasmo e competenza, all'amico allenatore di lanci **Gian Mario Castaldi**, che ha contribuito notevolmente, oltre che con consigli tecnici, anche alla correzione ed alla impaginazione del presente lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- <https://www.youtube.com/watch?v=S0YHQ1MC4gk&t=280s>
- http://personalpages.to.infn.it/~peroni/fis_bio/ph208_it/ph208_lec17.pdf
- La tecnica del lancio del disco secondo i canoni biomeccanici—Francesco Angius—atleticastudi n.3 e 4 2012
- Seminari per formatori regionali – Formia, Tirrenia, aprile 2017—Francesco Angius
- <https://lancichepassione.wordpress.com/2015/08/07/meccanica-la-trilogia-capitolo-3-fattori->