

***22° Corso Nazionale***  
***per***  
***Tecnici di IV Livello Europeo***  
**2022**

**Project Work**

**Il getto del peso con tecnica rotatoria  
e  
le sue variabili**

**Autore: T.S Nicola Piga**



***Roma, 20 dicembre 2022***

## Sommario

Sommario .....	2
Introduzione.....	4
Capitolo 1: il getto del peso e le tecniche di lancio.....	4
Caratteristiche del Getto del Peso.....	4
Caratteristiche delle tecniche di lancio .....	6
Capitolo 2: caratteristiche del lancio in rotazione.....	8
Il lancio e le capacità.....	9
Capitolo 3: Fasi del lancio .....	11
L'accelerazione .....	13
Fase di posizione di forza.....	14
Fase finale .....	15
Fase rilascio e cambio .....	16
Capitolo 4: Le variabili.....	18
Capitolo 5 : Analisi.....	19
Analisi delle Variabili e le loro relazione e correlazioni .....	19
Le variabili analizzate.....	20
Numero di atleti e risultati .....	22
Dati antropometrici .....	23
Dati rilascio.....	24
Velocità di rilascio.....	24
Angolo di rilascio .....	25
Altezza di rilascio .....	26
Distanza dei piedi nella posizione di potenza.....	27
Dati velocità del peso .....	27
Dati altezza peso.....	29
Dati percorso attrezzo .....	30
Lunghezza del percorso di lancio.....	31
Dati durata chiave.....	32
Distanza percorsa nella pedana.....	35
Lunghezza della fase di traslocazione o di volo .....	36
Dati angoli di separazione tra spalle e anche .....	36
Posizione avanti-dietro del tronco al rilascio.....	36
Tronco posizionato a dx – sx al rilascio .....	37
Angolo di separazione tra le spalle e le anche .....	37
Conclusione e commento tecnico .....	38

Calcoli .....	47
Bibliografia di riferimento.....	55
Ringraziamenti .....	55

## Introduzione

In questo lavoro di tesi si sono analizzate le variabili proprie del Getto del Peso. Il Getto del Peso è uno dei 4 lanci dell'Atletica Leggera. Sostanzialmente questa disciplina prevede il “getto” di una sfera metallica ad una distanza il più elevata possibile. Al contrario di quanto si pensi, il getto del peso non è una disciplina di solaforza e possiede caratteristiche altamente tecniche. Queste caratteristiche fanno del getto del peso un ottimo caso di studio e un settore dell'atletica in continuo aggiornamento, il tutto ovviamente mirato ad un aumento delle performance. Nello specifico, nelle pagine seguenti, è stato osservato un gruppo di lanciatori d'élite, sono state individuate delle variabili (come ad esempio angoli di lancio e distanze fra arti) e si è cercato di risalire a quanto e come ogni variabile influisca sulla buona riuscita del lancio.

## Capitolo 1: il getto del peso e le tecniche di lancio

### Caratteristiche del Getto del Peso

Il getto del peso è una delle 4 specialità di lancio dell'atletica leggera, svolta sia dagli uomini che dalle donne. Il getto del peso consiste nell'azione con la quale si conferisce a un oggetto (una sfera metallica) l'accelerazione iniziale necessaria a fargli acquistare rapidamente velocità allo scopo di fargli compiere una traiettoria nello spazio il più lontano possibile, senza uscire dai limiti di una pedana circolare del diametro interno di 2,135 m (vedi Figura 1) e rispettando uno specifico regolamento.

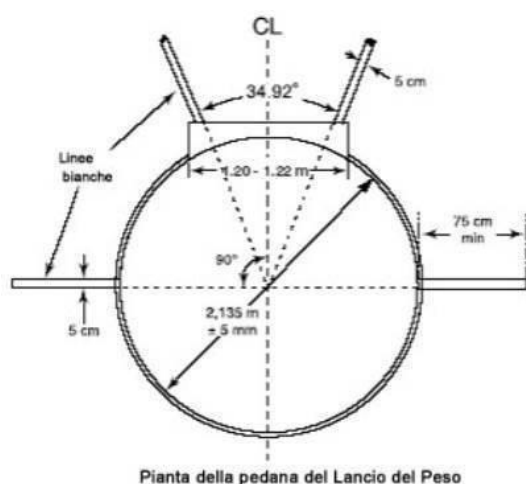


Figura 1: tipica pedana del Getto del Peso

Il getto del peso (e in generale tutte le specialità dei lanci) si distinguono dalle altre discipline di salto e di corsa per un elemento fondamentale: l'attrezzo . Se nelle altre discipline il risultato lo ottiene l'atleta spostando il suo corpo (quindi soggetto e oggetto della prestazione sono la medesima cosa), nel lancio l'atleta utilizza l'attrezzo come oggetto della prestazione. Questo elemento, altamente caratteristico dei lanci, determina una serie di principi fisici e biomeccanici specifici.

Semplificando questo processo possiamo dire che, attraverso dei precisi movimenti tra loro coordinati e correlati, l'atleta accumula della forza per poi rilasciarla nel momento del lancio, che si conclude con la fase finale di bloccaggio in prossimità dell'asse di battuta. Nel momento del bloccaggio, l'atleta esercita una forza di impatto, data da un arresto del centro di massa del sistema (atleta + attrezzo) che porta come conseguenza a un accumulo di energia cinetica che viene poi ceduta all'attrezzo.

Nel getto del peso si parla di "tecnica chiusa" ,detta anche *close-skill*, in quanto è determinante sul fattorerisultato.

Lo scopo della tecnica è quello di adattare un determinato comportamento motorio dell'atleta a degli elementi complementari come :

- le caratteristiche morfologiche, vista l'importanza del punto di rilascio e della spinta finale. Atleti alti con leve superiori lunghe hanno dei notevoli vantaggi;
- gli attrezzi (una sfera metallica, di peso differente a seconda del sesso e dell'età dell'atleta:maschi 7,257 Kg. - femmine 4 Kg.; a livello scolastico: allievi maschili 5 Kg. - juniores maschili 6 Kg. - allieve e juniores femminili 3 Kg.)
- la pedana (diametro interno di 2,135 m ). Si è visto quanto importante e determinante sia l'accelerazione per la riuscita del lancio: accelerare un corpo anche abbastanza imponente in un area così piccola è alquanto complesso; ma attraverso la tecnica e buone capacità motorie si riesce a compiere un movimento pari a 4.80 mt, abbastanza per ottenere una discreta velocità'.

La tecnica per essere efficace deve adeguarsi anche a delle regole tecniche del lancio:

- il lancio è nullo se il concorrente, dopo che è entrato in pedana e ha cominciato ad eseguire un lancio, tocca con qualsiasi parte del corpo il terreno al di fuori della pedana circolare o la parte superiore del fermapiEDE o si libera scorrettamente dell'attrezzo durante l'esecuzione dell'azione di lancio;
- perché il lancio sia valido il peso deve cadere completamente entro i margini interni del settore di caduta;
- il concorrente non deve lasciare la pedana fino a che l'attrezzo non ha toccato il terreno. Lasciando la pedana, il primo contatto con il terreno all'esterno della pedana deve avvenire completamente dietro la linea bianca tracciata all'esterno della pedana e che passa idealmente per il centro della pedana stessa;

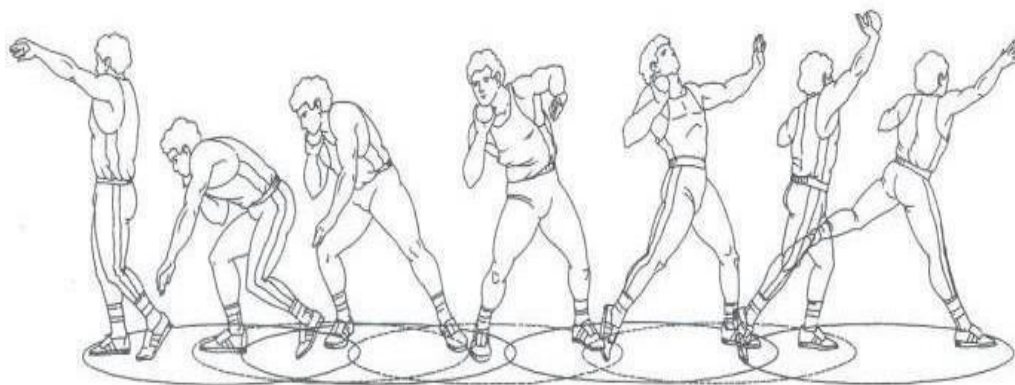
la misurazione di ciascun lancio deve essere fatta immediatamente dopo il lancio, dall'impronta più vicina alla pedana lasciata dalla caduta del peso alla parte interna del fermapiede, lungo una linea che va dall'impronta fatta dall'attrezzo al centro della pedana.

## Caratteristiche delle tecniche di lancio

Nel getto del peso sono presenti 2 tecniche di lancio: la tecnica lineare e quella rotazionale.

La tecnica lineare, introdotta dallo statunitense Parry O'Brien negli anni cinquanta, si basa su uno spostamento rettilineo con le spalle rivolte alla direzione di lancio. La mano che sostiene l'attrezzo risulta appoggiata nell'incavo tra la spalla e il collo, è così possibile compiere la cosiddetta traslocazione, la quale prevede:

- un momento di preparazione
- un'accelerazione che avviene con una spinta all'indietro
- una rotazione del bacino verso il campo di lancio
- un proiettamento del peso attraverso l'estensione del braccio per la spinta finale (si veda la figura 2).



*Figura 2: tecnica traslazionale mostrata per singoli movimenti*

Analizzando il lancio, i principali fattori che ne determinano la buona riuscita sono la traiettoria del peso e la velocità di traslocazione. Abbiamo visto che nei lanci in cui si siano superati i 21 m di gittata, al termine della traslocazione sono state misurate velocità del peso di 3,5-3,7 m/s, che rappresentano valori pari al 25% circa della velocità finale. L'esame della traiettoria del peso dimostra che le più alte velocità si raggiungono quando l'attrezzo segue lo stesso percorso rettilineo sia nel momento della traslocazione, sia in quello della spinta finale, invece quando il movimento scorretto dell'atleta determina variazioni di traiettoria del peso nel passaggio tra traslocazione e spinta, abbiamo una

diminuzione del 60-70% della velocità alla fine della traslocazione. Importante è anche il rapporto tra tempi di spinta e traiettoria del peso. Qui si è potuto verificare che i massimi risultati vengono ottenuti quando i tempi della spinta finale sono molto brevi (0,18-0,22 s) e la traiettoria del peso, dal punto di partenza della traslocazione al punto di stacco dalla mano, è relativamente lunga (1,70-1,78 m).L'angolo ottimale della traiettoria di stacco dell'attrezzo rispetto al terreno, al fine di ottimizzare la lunghezza della gittata, è inferiore ai 45° previsti dalle equazioni del modello teorico.

Si noti che la tecnica lineare in campo femminile continua a prevalere anche ad alti livelli (si veda la figura 3); infatti nelle ricorrenze di altissimo livello (Mondiali e Olimpiadi) il 70 % delle atlete lancia con la tecnica traslocatoria. Un'importante eccezione è rappresentata dalla statunitense Chase Ealey, che ai Mondiali di Eugene, nel 2022 ha vinto utilizzando la tecnica rotatoria, scagliando l'attrezzo a 20.49m.

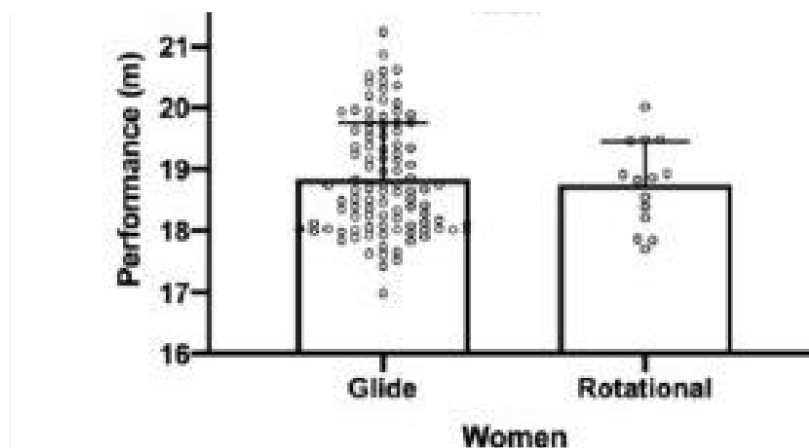


Figura 3: dispersione dei dati relativi alla serie di lanci della gara femminile del Mondiale di Eugene del 2022.

### La Tecnica rotatoria nasce come imitazione della tecnica utilizzata per il Lancio del Disco.

Già nel 1957, Klement Kerssenbrock (CSSR) era noto per aver sperimentato una tecnica di lancio del peso non tradizionale affermando che, utilizzando un'azione rotatoria simile alla tecnica del martello si sarebbero potuti ottenere dei guadagni significativi. Questa sua teoria non riuscì a convincere i lanciatori di alto livello russi di quell'epoca e venne quindi abbandonata. Ma non del tutto. Aleksandr Baryshnikov (URSS) è stato il primo lanciatore a competere con lo stile rotatorio ai Giochi Olimpici del 1972 a Monaco di Baviera, prendendo spunto non dal martello come il suo collega Kerssenbrock ma dal lancio del disco. Brian Oldfield (USA), che gareggiò alle stesse Olimpiadi, ma con lo stile tradizionale, si interessò a questo modo di lanciare e stabilì il primo record mondiale di 22.85 mt nel 1975. Sicuramente questa specialità presenta particolarità tecniche più complesse della tecnica traslocatoria, dovute in special modo al fattore rotante del movimento. Tutte le volte che un corpo si muove lungo una traiettoria circolare questo è soggetto a due forze: la forza centripeta che attira l'attrezzo verso il baricentro dell'atleta e la forza centrifuga che lo allontana dal centro. Finché le due forze si equivalgono, il corpo mantiene la sua traiettoria e il suo stato di equilibrio coincide con un incremento e accumulo di energia a cui l'atleta è sottoposto. E sono proprio queste forze che conferiscono all'attrezzo una importante accelerazione; qualora invece queste forze non si dovessero equivalere avremo uno sfasamento della posizione ideale e di conseguenza una perdita della forza accumulata.

## Capitolo 2: caratteristiche del lancio in rotazione

I fattori che determinano il risultato di questa specialità sono numerosi; fra i più importanti c'è sicuramente la natura morfologica degli atleti: quelli alti con leve lunghe sono sicuramente avvantaggiati. Se la tecnica lineare è ancora prerogativa delle donne, la tecnica rotatoria invece è quella a oggi maggiormente (se non totalmente) utilizzata nel settore maschile (si veda la figura 4).

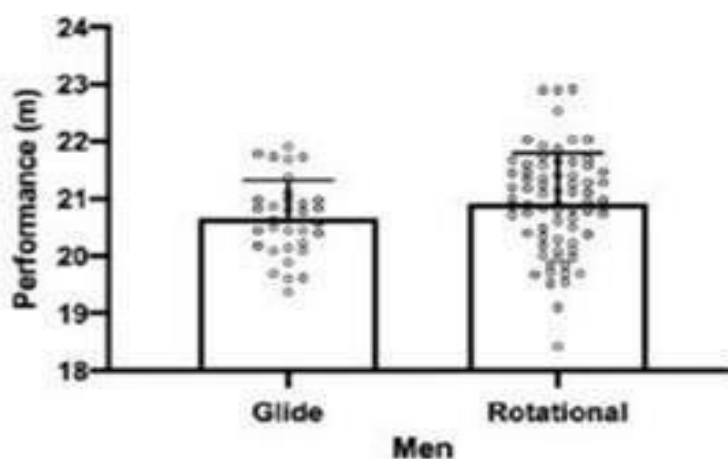


Figura 4: dispersione dei lanci della gara maschile del Mondiale di Eugene nel 2022.

Il lancio con la tecnica rotatoria può essere suddiviso in azioni motorie ben specifiche : fase iniziale di doppio appoggio, singola fase di appoggio, fase di volo e fase di doppio appoggio, fase di rilascio. Per quanto riguarda i parametri da analizzare si avranno velocità di rilascio , angolo di rilascio, altezza di rilascio, traiettoria del lancio, angolo tra l'anca e l'asse delle spalle, angolo del gomito e angolo delle spalle durante l'azione di rilascio.

Ogni lanciatore personalizza e adatta la tecnica di lancio secondo le proprie caratteristiche, di conseguenza il risultato del modello tecnico non può essere generalizzato. Ciononostante, da un'analisi biomeccanica si sono prodotti eccezionalmente importanti parametri, i quali possono essere utilizzati per definire le variabili chiave del lancio, che sono elementi più o meno comuni per una corretta esecuzione.



## Il lancio e le capacità

L'apprendimento della tecnica si basa su un metodo di allenamento del tipo analitico, cioè sulla scomposizione del gesto in più frammenti o parti, sul rallentamento del ritmo esecutivo e sulla stimolazione nel soggetto a una attività autonoma che gli permette di scoprire proprie soluzioni motorie. Il tutto risulta finalizzato ad un preciso scopo: lanciare utilizzando in modo proficuo l'energia accumulata durante tutte le fasi del movimento.

Logicamente per ottenere una tecnica ottimale è fondamentale lo sviluppo di determinate capacità condizionali. Queste dipendono principalmente dalle qualità dell'apparato locomotore e dai processi fisiologici di produzione dell'energia e devono essere allenate con continuità per essere migliorate o per mantenerle costanti nel tempo. Quelle più legate a questa disciplina sono:

**La capacità di equilibrio**, ossia la capacità di mantenere il corpo in condizioni di equilibrio e di mantenere o ristabilire tale condizione nel corso degli spostamenti.

L'equilibrio si divide in quattro aspetti: statico, dinamico, statico-dinamico e di volo. Nel caso qui analizzato è fondamentale lo sviluppo di quello dinamico inteso come il riaggiustamento postulare causato da un disequilibrio momentaneo o transitorio connesso allo spostamento del baricentro; senza equilibrio non c'è trasmissione delle forze accumulate.

**La capacità di differenziazione cinestetica**, ossia la qualità che permette di distinguere, valutare e definire gli impulsi in arrivo, la loro elaborazione, la trasmissione di impulsi per l'esecuzione del movimento e l'azione motoria realizzata. Questa capacità, che permette di graduare e modulare forza e velocità, la rende importante in particolare per tutti i movimenti di precisione in tutti gli sport con tecnica chiusa.

**La capacità di differenziazione** (spazio-temporale), la facoltà di un individuo di collocarsi nello spazio in rapporto agli oggetti e di valutare il tempo necessario a compiere un'azione motoria e modificare la posizione e il movimento del corpo nello spazio e nel tempo in riferimento ad uno spazio d'azione definito. Questo è determinante per trovare la miglior posizione finale prima del rilascio dell'attrezzo.

**La capacità di ritmo**, la capacità che permette di organizzare i movimenti in maniera che l'azione risulti la più fluida e armoniosa possibile. Ciò è possibile adattando i propri movimenti a un ritmo esterno o interno. Questa scioltezza di movimento permette di ottimizzare la trasmissione della forza nella catena cinetica dell'atleta e rende visibilmente il movimento semplice e redditizio; permette inoltre di graduare e modulare forza e velocità, e ciò la rende particolarmente importante per tutti i movimenti.

**La Capacità di reazione**, ovvero la capacità di rispondere agli stimoli con l'azione motoria più rapida e meglio adeguata alle circostanze. Lo sviluppo di questa capacità, che è basilare per gli sport con movimento aciclico, può essere (entrambe le tipologie sono presenti per il getto d'el peso):

- Semplice: quando gli stimoli sono previsti e conosciuti
- Complessa: quando gli stimoli sono sconosciuti ed imprevedibili.

**La capacità di combinazione e accoppiamento dei movimenti**, ossia la capacità che permette di collegare tra loro delle abilità motorie già acquisite, ovvero la capacità di collegare tra loro diversi movimenti consecutivi (ad esempio nell'azione di accelerazione e spinta del peso) o contemporanei (azione associata di gambe e braccia in tutto il movimento del gesto) per realizzarne uno unico e fluido. Ad esempio, il lanciatore coordina il movimento degli arti inferiori con gli arti superiori.

La memorizzazione motoria è una memoria di tipo procedurale. Questa è responsabile dell'esecuzione corretta del movimento, modulata in base al compito, alla situazione e a tutte le variabili. Il lancio è una complessa sequenza di gesti, tensione e rilassamento di molti muscoli diversi. La memorizzazione motoria avviene con pratica ripetuta nel tempo durante le sedute di allenamento di tutte le fasi che formano il lancio, affinché queste azioni possano essere eseguite più velocemente, più agevolmente e con maggiore redditività.

La Coordinazione nella tecnica rotatoria è caratterizzata da movimenti molto complessi che devono essere eseguiti ad un'alta velocità in uno spazio limitato e con un alto indice di coordinazione (intesa come quella qualità di controllare il movimento in azioni precise in funzione del gesto tecnico) e di correlazione intesa come la relazione tra tempo e movimento.

Un ruolo rilevante nella coordinazione è dato dagli analizzatori, organi informatori che assumono un'importanza fondamentale per la riuscita del lancio, identificati nei seguenti apparati:

- l'apparato visivo, che raccoglie le immagini dello spazio in cui ci si muove;
- l'apparato vestibolare, formato da un organo della parte interna dell'orecchio che ci informa sulle accelerazioni e sulle posizioni del corpo nello spazio ;
- la capacità cinestetica o propriocettiva, data dai fusi neuromuscolari e dai corpuscoli di Golgi, che ci informano sulla percezione della entità tensiva dei muscoli e della loro modulazione.

La sommatoria di questi analizzatori ci permette di acquisire elementi fondamentali per il corretto movimento tecnico, come la capacità di reazione e di controllo motorio, di combinazione e di accoppiamento dei movimenti, la capacità di orientamento spazio- temporale e di equilibrio.

Tutte queste capacità consentono di modificare la posizione e lo spostamento del corpo nello spazio e nel tempo in riferimento ad un campo di azione ben definito e permettono di mantenere il corpo in equilibrio o di recuperare la posizione desiderata anche dopo ampie sollecitazioni e spostamenti. Tutto questo allo scopo di ottenere la massimizzazione della distanza del lancio. In tutto ciò c'è anche una dipendenza da fattori genetici, soprattutto in riferimento all'altezza del corpo e alla lunghezza del braccio. Di conseguenza, in termini biomeccanici l'azione di lancio in tecnica rotatoria è costituita da sequenze di rotazione e di linearità dei movimenti che devono essere ben correlati. Diverse fasce muscolari prendono parte al movimento basato sui principi del parallelismo, in quanto si manifesta una partecipazione contemporanea di diversi gruppi muscolari di un determinato movimento, e della sequenzialità, infatti abbiamo una successione ordinata e progressiva di intervento dei vari distretti muscolari che permettono di spostare il peso da un punto prossimale (vicino al baricentro corporeo) ad un punto distale (distante dal baricentro corporeo).

La tecnica rotatoria, dalla partenza al rilascio del peso, si basa su movimenti e combinazioni isotonici dati dalla combinazione e dall'equilibrio di forze verticali di tipo concentrica-eccentrica, e orizzontali, come la forza centrifuga e la forza centripeta; a seconda delle fasi del movimento questa coordinazione della sequenza della catena muscolare assume un'importanza determinante sulla trasmissione dell'intensità della forza.

La forza è uno degli elementi principali per la riuscita del lancio in tutte le sue fasi. Nella fase iniziale assume un'importanza essenziale la forza della parte inferiore del tronco, in particolare l'azione esercitata dalle gambe, le quali spingono contro il suolo cercando l'allontanamento del proprio asse dal punto di rotazione per poi riavvicinarsi, con una azione circolare, al medesimo punto. Nella fase finale invece, dove abbiamo un intervento aggiuntivo della parte superiore del tronco, la forza ha la capacità di influenzare il grado di accelerazione della rotazione, l'ottimizzazione del bloccaggio, l'angola di uscita, la velocità e l'angolo di rilascio.

### Capitolo 3: Fasi del lancio

Il getto del peso con tecnica rotatoria si basa su fasi, ognuna delle quali è composto da particolari, irripetibile e unici movimenti tecnici (movimento aciclico). Nella fase iniziale assume un'importanza essenziale la parte inferiore del tronco, in particolare l'azione esercitata dalle gambe, le quali spingono contro il suolo cercando l'allontanamento del proprio asse dal punto di rotazione per poi riavvicinarsi, con una azione circolare, al medesimo punto. Nella fase finale invece, dove abbiamo un intervento aggiuntivo della parte superiore del tronco, la forza ha la capacità di influenzare il grado di accelerazione della rotazione, l'ottimizzazione del bloccaggio, l'angola di uscita, la velocità e l'angolo di rilascio.

## La partenza

Per ogni fase del lancio abbiamo distretti muscolari maggiormente impiegati, tipi di contrazione e angoli differenti.

Nella prima fase, la partenza, la posizione del baricentro deve rimanere al centro delle gambe per un corretto equilibrio. I piedi dovrebbero essere alla larghezza delle spalle o leggermente più larghi, con le punte dei piedi leggermente all'infuori. Le spalle devono essere equilibrate e parallele al suolo (fig.5).



Figura 5: partenza di un lancio condotto con la tecnica della rotazione

Per quanto riguarda l'attivazione muscolare abbiamo un utilizzo maggiore di quei muscoli dell'emisfero sinistro in fase eccentrica (per lanciatori destrorsi), necessari per attivare l'inizio dell'accelerazione. Di seguito una tabella che mostra in giallo i muscoli che lavorano in concentrico e in verde quelli che lavorano in eccentrico

1	deltoid	contrazione di tipo concentrica
3	triceps	contrazione di tipo concentrica
4	rectus abdominis	contrazione di tipo concentrica
5	external oblique	contrazione di tipo concentrica
2	extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
6	internal oblique	contrazione di tipo eccentrica
7	sartorius	contrazione di tipo eccentrica
8	rectus femoris	contrazione di tipo eccentrica
9	vastus lateralis	contrazione di tipo eccentrica
10	vastus medialis	contrazione di tipo eccentrica
11	gastrocnemius	contrazione di tipo eccentrica
12	soleus	contrazione di tipo eccentrica
13	quadricipes	contrazione di tipo eccentrica
14	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
15	Extensor carpi radialis	contrazione di tipo eccentrica

1	deltoid	contrazione di tipo concentrica
6	internal oblique	contrazione di tipo concentrica
14	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo concentrica
18	Branchialis	contrazione di tipo concentrica
19	Extensor pollicis longus	contrazione di tipo concentrica
21	Extensor carpi ulnaris	contrazione di tipo concentrica
5	external oblique	contrazione di tipo eccentrica
13	Quadricipes	contrazione di tipo eccentrica
23	Semitendinosus	contrazione di tipo eccentrica
24	Semimembranosus	contrazione di tipo eccentrica

Figura6: distretti muscolari parte sinistra fase partenza

Figura7: distretti muscolari part destra fase partenza

## L'accelerazione

Nella seconda fase, cioè la fase dell'accelerazione di tutto il sistema atleta-attrezzo, l'accelerazione avviene tramite un passaggio da una fase di doppio appoggio (in cui gli arti inferiori opposti al peso hanno una funzione di perno e quelli superiori hanno un compito di bilanciamento e controllo della velocità di rotazione) a una fase di monoappoggio, dove la gamba opposta al peso funge da timone, mentre quella del peso va al centro della pedana. Qui è fondamentale che il tempo di volo del monoappoggio sia minimo in modo che le forze al suolo possano essere applicate il prima possibile al lancio (si veda la figura 6). In questa fase abbiamo un maggior intervento delle forze orizzontali, vale a dire della forza centrifuga e centripeta; queste due forze contrastanti hanno una migliore efficacia quando sono in totale equilibrio mentre per quanto riguarda le forze verticali vengono ancora maggiormente utilizzati i muscoli dell'emisfero sinistro, essendoci l'inizio del processo di attivazione dei muscoli della parte destra. Sulla prima fase di monoappoggio, i muscoli appartenenti all'emisfero del peso hanno una maggiore influenza e importanza sull'accelerazione del sistema, poiché si trovano in fase di spinta, soprattutto nella parte inferiore del corpo. In questa parte la contrazione eccentrica è prevalente su quella concentrica, anche se nell'emisfero destro i due tipi di forza si equivalgono. Nella parte opposta hanno un compito di controllo e bloccaggio del sistema e la contrazione eccentrica è prevalente su quella concentrica.

1	Deltoid	contrazione di tipo concentrica
3	Triceps	contrazione di tipo concentrica
5	External oblique	contrazione di tipo concentrica
7	Sartorius	contrazione di tipo concentrica
16	Iliopsoas	contrazione di tipo concentrica
2	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
4	Rectus abdominis	contrazione di tipo eccentrica
6	Internal oblique	contrazione di tipo eccentrica
7	Rectus femoris	contrazione di tipo eccentrica
8		
9	Vastus lateralis	contrazione di tipo eccentrica
10	Vastus medialis	contrazione di tipo eccentrica
11	Gastrocnemius	contrazione di tipo eccentrica
12	Soleus	contrazione di tipo eccentrica
13	Quadriceps	contrazione di tipo eccentrica
14	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
15	Extensor carpi radialis brevis	contrazione di tipo eccentrica

1	Deltoid	contrazione di tipo concentrica
3	Triceps	contrazione di tipo concentrica
4	Rectus abdominis	contrazione di tipo concentrica
6	Internal oblique	contrazione di tipo concentrica
12	Soleus	contrazione di tipo concentrica
14	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo concentrica
18	Brachialis	contrazione di tipo concentrica
19	Extensor pollicis longus	contrazione di tipo concentrica
21	Extensor carpi ulnaris	contrazione di tipo concentrica
36	Glutes minimus	contrazione di tipo concentrica
38	Tensor fascia latae	contrazione di tipo concentrica
5	External oblique	contrazione di tipo eccentrica
13	Quadriceps	contrazione di tipo eccentrica
37	Gracilis	contrazione di tipo eccentrica

Figura8: distretti muscolari parte sinistra fase accelerazione Figura9: distretti muscolari parte destra fase accelerazione



Figura 10: prima fase di mono appoggio. Si noti come il braccio libero dall'attrezzo sia utilizzato per stare in equilibrio

## Fase di posizione di forza

Dalla fase di monoappoggio si passa a quella di doppio appoggio attraverso la fase di spinta. Questa prevede la spinta da parte dell'unico appoggio presente e la conseguente fase di volo, che deve essere il più breve possibile. Segue quindi la seconda fase detta posizione di potenza, dove abbiamo un leggero assestamento del sistema su entrambi i piedi. In questa fase il corpo sta immagazzinando energia potenziale prima del rilascio finale. Questa posizione è simile a quella di un lanciatore con tecnica lineare tranne che per una distanza dei piedi più stretta

I muscoli appartenenti nell'emisfero del peso hanno una maggiore influenza e importanza in questa fase di spinta soprattutto nella parte inferiore del corpo. In questa parte per le caratteristiche del movimento citato precedentemente la contrazione eccentrica è prevalente su quella concentrica anche se nell'emisfero destro i due tipi di forza si equivalgono

1	Deltoid	contrazione di tipo concentrica
3	Triceps	contrazione di tipo concentrica
6	Internal oblique	contrazione di tipo concentrica
8	Rectus femoris	contrazione di tipo concentrica
10	Vastus medialis	contrazione di tipo concentrica
11	Gastrocnemius	contrazione di tipo concentrica
12	Soleus	contrazione di tipo concentrica
35	Rectus abdominis	contrazione di tipo concentrica
7	Quadriceps	contrazione di tipo eccentrica
13	External oblique	contrazione di tipo eccentrica
14	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
15	Extensor carpi radialis brevis	contrazione di tipo eccentrica
22	Biceps femoris	contrazione di tipo eccentrica
23	Semitendinosus	contrazione di tipo eccentrica
24	Semimembranosus	contrazione di tipo eccentrica
25	Glutes maximus	contrazione di tipo eccentrica
1	Deltoid	contrazione di tipo concentrica
5	External oblique	contrazione di tipo concentrica
7	Sartorius	contrazione di tipo concentrica
16	Iliopsoas	contrazione di tipo concentrica
17	Pectoralis major	contrazione di tipo concentrica
18	Brachialis	contrazione di tipo concentrica
19	Extensor pollicis longus	contrazione di tipo concentrica
21	Extensor carpi ulnaris	contrazione di tipo concentrica
2	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
3	Triceps	contrazione di tipo eccentrica
4	Rectus abdominis	contrazione di tipo eccentrica
6	Internal oblique	contrazione di tipo eccentrica
8	Rectus femoris	contrazione di tipo eccentrica
9	Vastus lateralis	contrazione di tipo eccentrica
10	Vastus medialis	contrazione di tipo eccentrica
11	Gastrocnemius	contrazione di tipo eccentrica
12	Soleus	contrazione di tipo eccentrica
13	Quadriceps	contrazione di tipo eccentrica
14	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
15	Extensor carpi radialis brevis	contrazione di tipo eccentrica
22	Biceps femoris	contrazione di tipo eccentrica
23	Semitendinosus	contrazione di tipo eccentrica
24	Semimembranosus	contrazione di tipo eccentrica
25	Glutes maximus	contrazione di tipo eccentrica
26	Erector spinae	contrazione di tipo eccentrica

Figur11:distretti muscolari parte destra fase P forza Figura12: distretti muscolari parte sinistra fase P forza



Figura 13:seconda fase di posizione di potenza



## Fase finale

La messa a terra della gamba timone consente il verificarsi di un effetto di "blocco". A questo punto tutta la forza di rotazione viene convertita in forza verticale eseguendo un salto verticale con il lancio. Il piede al centro della pedana deve continuare a ruotare per tutta la posizione di potenza in modo che i fianchi guidino il lancio. Inoltre, la testa deve rimanere indietro il più a lungo possibile per assicurarsi che il peso rimanga dietro le gambe e i fianchi. Se lo svolgimento del movimento è svolto correttamente, il peso dovrebbe lasciare la mano in modo veloce e decontratto.

Qui la fase eccentrica è ancora dominante in quanto siamo in una fase di caricamento prima del rilascio. Tutti i muscoli inferiori - posteriori dell'emisfero del peso sono atti a una spinta verso la zona di lancio e quelli superiori a gettare il peso il più veloce possibile, il tutto in contrasto con i muscoli della parte opposta del peso, i quali hanno il compito di bloccare e verticalizzare tutto il sistema. A questo punto tutta la forza di rotazione viene convertita in forza verticale (figura 14)



Figura 14: seconda fase di posizione di potenza

1	Deltoid	contrazione di tipo concentrica
5	External oblique	contrazione di tipo concentrica
6	Internal oblique	contrazione di tipo concentrica
9	Vastus lateralis	contrazione di tipo concentrica
17	Pectoralis major	contrazione di tipo concentrica
2	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
3	Triceps	contrazione di tipo eccentrica
11	Gastrocnemius	contrazione di tipo eccentrica
12	Soleus	contrazione di tipo eccentrica
22	Biceps femoris	contrazione di tipo eccentrica
23	Semitendinosus	contrazione di tipo eccentrica
24	Semimembranosus	contrazione di tipo eccentrica
25	Gluteus maximus	contrazione di tipo eccentrica

Figura 15: distretti muscolari parte destra fase finale

1	Deltoid	contrazione di tipo eccentrica
2	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
4	Rectus abdominis	contrazione di tipo eccentrica
6	Internal oblique	contrazione di tipo eccentrica
8	Rectus femoris	contrazione di tipo eccentrica
9	Vastus lateralis	contrazione di tipo eccentrica
10	Vastus medialis	contrazione di tipo eccentrica
11	Gastrocnemius	contrazione di tipo eccentrica
12	Soleus	contrazione di tipo eccentrica
13	Quadriceps	contrazione di tipo eccentrica
14	Extensor digitorum communis	contrazione di tipo eccentrica
15	Extensor carpi radialis brevis	contrazione di tipo eccentrica
22	Biceps femoris	contrazione di tipo eccentrica
23	Semitendinosus	contrazione di tipo eccentrica
24	Semimembranosus	contrazione di tipo eccentrica
25	Gluteus maximus	contrazione di tipo eccentrica
26	Erector spinae	contrazione di tipo eccentrica
3	Triceps	contrazione di tipo concentrica
5	External oblique	contrazione di tipo concentrica

Figura 16: distretti muscolari parte sinistra fase finale

## Fase rilascio e cambio

L'atterraggio dopo il rilascio può dire molte cose sul lancio. I lanciatori che commettono fallo uscendo davanti, dall'area di lancio, sono generalmente troppo veloci, fuori controllo e hanno un bloccaggio approssimativo.

Questi lanciatori devono lavorare per rallentare la rotazione nella parte posteriore, bloccando il lato sinistro acquisendo una maggiore verticalizzazione sul finale.

Un altro errore comune si verifica quando, dopo il rilascio, il lanciatore finisce al centro della pedana. Questo avviene quando il bloccaggio si mostra efficiente (e quindi il corpo dell'atleta rimane al centro della pedana) ma non l'aperta col piede al centro pedana. Si ha quindi una situazione in cui il corpo non avanza e, appunto, rimane al centro della pedana.

Dopo il completamento di un lancio corretto, il lato del corpo dove è presente il peso dovrebbe essere rivolto verso l'area di lancio, con il piede che atterra piatto. Questo, insieme all'estensione della gamba e del braccio opposti verso la parte posteriore dell'anello, aiuterà a stabilizzare l'atleta nel rimanere in pedana.



*Figura 17: fase rilascio del lancio, il rilascio dell'attrezzo*

Il piede al centro della pedana deve continuare a ruotare per tutta la posizione di potenza in modo che i fianchi guidino il lancio. La testa deve rimanere indietro il più a lungo possibile per assicurarsi che il peso rimanga dietro le gambe e i fianchi. Se il movimento è svolto correttamente, il peso dovrebbe lasciare la mano in modo veloce e decontratto.

Tutti i muscoli inferiori - posteriori dell'emisfero del peso sono atti a una spinta verso la zona di lancio e quelli superiori a gettare il peso il più veloce possibile, il tutto in contrasto con i muscoli della parte opposta del peso, i quali hanno un compito di bloccare e verticalizzare tutto il sistema.

In questa fase tutti i gruppi muscolari maggiormente interessati hanno una contrazione muscolare di tipo concentrica in tutto il sistema muscolare



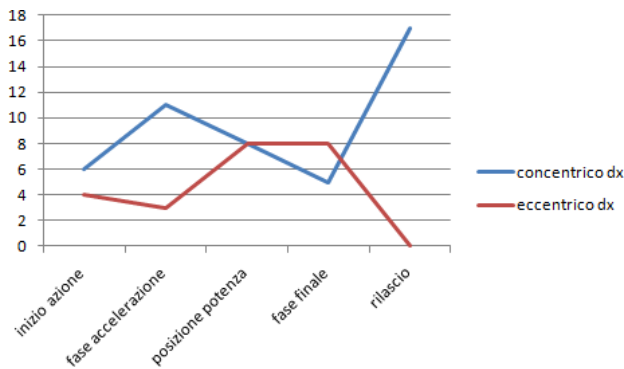


Figura18: F ecc e F conc parte destra nelle 5 fasi

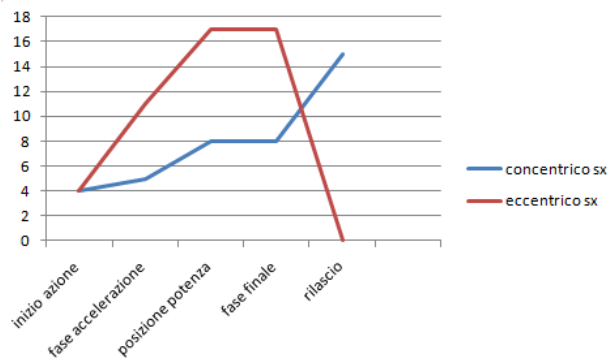


Figura19: F ecc e F conc parte sinistra nelle 5 fase

Analizzando graficamente le fasi del lancio sotto il punto di vista della contrazione muscolare della parte destra e della parte sinistra si vede che nella prima (dedita alla spinta e al maggior uso di forza esplosiva –reattiva) c'è un maggior interessamento della contrazione di tipo concentrica, mentre nella parte sinistra (dedita più a un movimento di bloccaggio e di controllo del movimento) c'è un maggior uso di quella eccentrica.

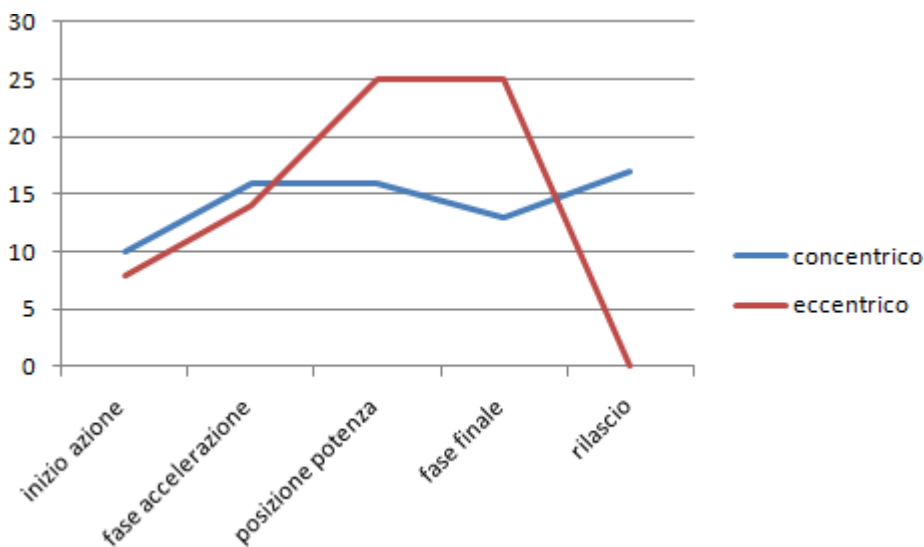
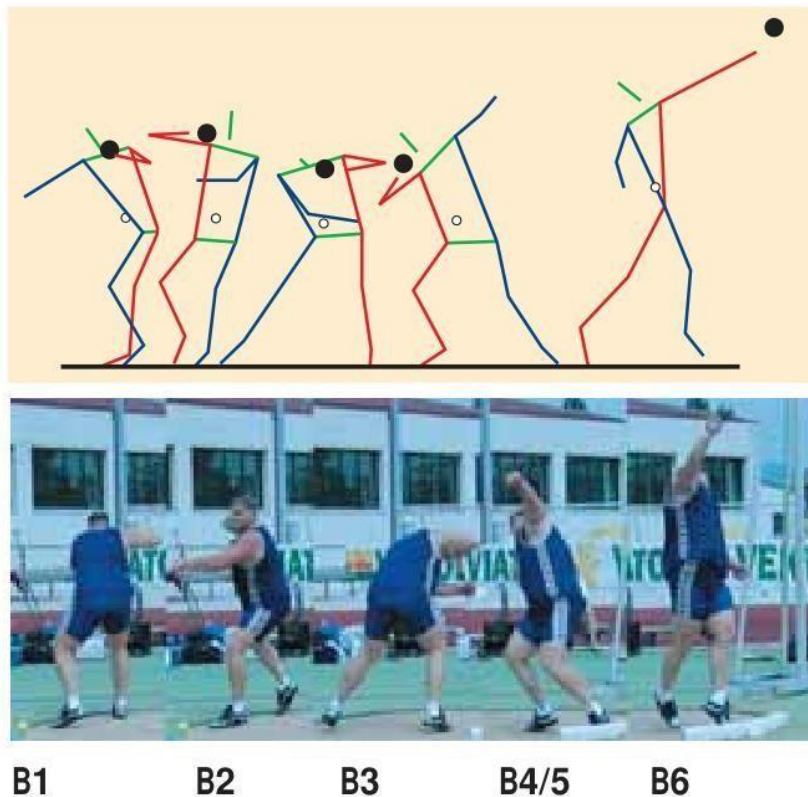


Figura20: F ecc e F conc parte generale nelle 5 fase

Il grafico in alto indica il gesto tecnico nella sua globalità. Si vede che contrazioni di tipo concentriche hanno una progressione regolare dove nella parte conclusiva si produce la massima intensità di contrazione, al contrario di quella eccentrica, dove cresce e raggiunge la sua massima intensità nella parte centrale fino al bloccaggio per poi perdere di intensità nella fase di rilascio.

## Capitolo 4: Le variabili

Dal punto di vista cinematico vediamo che la riuscita del lancio è data da movimenti multipli, aciclici e tra loro coordinati, suddivisi in fasi (vedi foto)



Posizione iniziale (B1): è la prima della fase di preparazione del lancio dove si attuano oscillazioni preliminari e la faccia dell'atleta è rivolta in direzione opposta a quella del lancio .

Inizio del giro (B2) : questa fase parte alla fine della fase del doppio supporto, culminando alla prima fase di singolo supporto sul piede sinistro .

Fase di volo (B3): è la transazione dell'applicazione della forza dal piede sinistro al piede destro, che si porta vicino al centro del cerchio. Alla fine della fase di volo inizia la seconda fase del singolo supporto .

La seconda fase di singolo supporto inizia quando il piede destro è posizionato a terra (B4) e finisce nell'istante in cui il piede sinistro entra in contatto con la parte frontale del cerchio di lancio .

Nella seconda fase di doppio supporto (B5) parte l'azione di rilascio finale dell'attrezzo. L'angolo di uscita ottimale solitamente è dai 35 ai 40 gradi; la distanza di uscita è data dalla formula

$$D f = \frac{v^2 \sin 2 \alpha}{2g} \left[ 1 + \left( 1 + \frac{2 gh}{v^2 \sin^2 \alpha} \right)^{1/2} \right]$$

v = release velocity

$\alpha$  = release angle

g = acceleration due to gravity

h = h<sub>release</sub> – h<sub>landing</sub>

L'azione di rilascio è eseguita durante la fase di volo (B6) .

Da questa analisi cinematica del lancio si evidenzia un insieme di caratteristiche e parametri legati a più elementi come la tecnica, le caratteristiche fisico - antropomorfe, la capacità di produrre e applicare la forza, la capacità di applicare angoli di spinta ecc., ossia le variabili, le quali sono necessarie per determinare la buona riuscita del lancio.

La peculiarità delle variabili è che alcune di queste possono essere quantificate e analizzate, per altre, soprattutto quelle condizionali, non è possibile (ad esempio dare un valore al grado di applicazione della forza utilizzata dall'atleta durante il lancio, le sue tensioni e gli impulsi nervosi durante tutta la prestazione). Di conseguenza i dati analitici delle variabili che possiamo estrapolare e esaminare nel lancio ci potranno essere più utili nel pianificare una preparazione più che per capire l'andamento del risultato del lancio stesso, soprattutto quando parliamo di competizione di alto livello.

Infatti può capitare che un atleta abbia nel complesso degli ottimi dati analitici, senza però aver ottenuto il miglior risultato. Al contrario, un atleta con dei valori delle variabili non eccezionali al termine potrebbe però avere ottenuto la miglior prestazione.

## Capitolo 5 : Analisi

### Analisi delle Variabili e le loro relazione e correlazioni

Partendo da due studi separati, dove però le variabili in questione sono le medesime, vengono analizzati e valutati i migliori lanci delle singole finali senza però avere nessun collegamento tra i due campionati.

**BIOMECHANICAL REPORT FOR THE WORLD INDOOR CHAMPIONSHIPS 2018 Shot Put Men Birmingham uk**

**BIOMECHANICAL REPORT FOR THE WORLD CHAMPIONSHIPS 2017 Shot Put Men's London uk**

**Dr Alex Dinsdale, Aaron Thomas and Dr Athanassios Bissas Carnegie School of Sport Stéphane Merlino IAAF Project Leader**

## Le variabili analizzate

altezza\_atleta m

peso\_atleta kg

velocità\_di\_rilascio m/s

angolo\_di\_rilascio (°)

altezza\_di\_rilascio m

altezza\_di\_rilascio\_vs\_altezza\_corpo %

distanza\_dal\_fermapiede m

posizione\_tronco\_al\_rilascio\_avanti\_indietro

posizione\_tronco\_al\_rilascio\_dx\_sx

spinta\_gamba\_dx m/s

spinta\_gamba\_sx m/s

ripresa\_gamba\_dx m/s

sostegno\_gamba\_sx m/s

distacco\_gamba\_dx m/s

distacco\_gamba\_sx m/s

distanza\_da\_spinta\_gamba\_dx\_a\_spinta\_gamba\_sx\_fuori m

distanza\_da\_spinta\_gamba\_dx\_a\_ripresa\_dx\_centro\_pedana m

da\_contatto\_dx\_a\_centro\_arrivo\_sx\_a\_terra m

da\_contatto\_sx\_a\_rilascio m

Percorso totale m

spinta\_gamba\_destra m

spinta\_gamba\_sinistra m arrivo\_gamba\_dx m

arrivo\_gamba\_sx\_blocco suolo m

tempo\_spinta\_gambe\_dx\_sx sec

tempo\_distacco\_gamba\_sx\_fino\_arrivo\_dx\_centro\_pedana sec

tempo\_da\_arrivo\_gamba\_dx\_a\_quello\_sx

Tempo di arrivo\_gamba\_sx\_al\_rilascio distanza\_nella\_fase\_traslocazione\_volo m

distanza\_in\_posizione\_potenza m

Distanza\_totale\_nella\_fase\_di\_tralocazione/ volo %

Distanza\_totale\_nella\_posizione\_di\_potenza %

gradi\_Spinta\_gamba\_dx\_fuori (°)

**Spinta\_gamba\_sx\_fuori(°)**

**ripresa\_gamba\_destra (°)**

**arrivo\_a\_terra\_gamba\_blocco**

**(°)rilascio angolo (°)**

Questo studio si basa sull'unione di tutti i risultati delle due manifestazioni, per avere un maggior numero di dati da analizzare (26 risultati) di atleti di interesse internazionale di alto profilo tecnico e prestazionale e trovare delle relazioni e correlazioni tra le variabili stesse e il valore delle prestazioni degli atleti in questione.

Per una migliore analisi descrittiva e grafica del progetto vengono divisi le variabili in 8 gruppi:

1. Dati antropometrici
2. Dati rilascio
3. Dati Velocità del peso
4. Dati percorso attrezzo
5. Dati altezza peso
6. Dati durata fasi chiave
7. Dati distanza percorsa nella pedana di lancio
8. Dati angoli di separazione tra spalle e anche

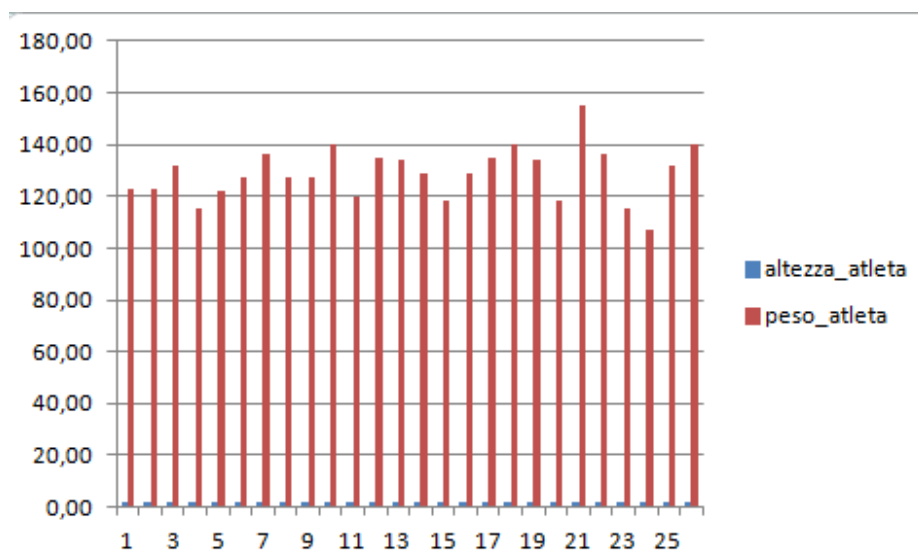
## Numero di atleti e risultati

atleta	risultato m
1	22,31
2	22,03
3	21,66
4	21,46
5	21,44
6	21,41
7	21,41
8	21,37
9	21,20
10	21,15
11	21,06
12	21,03
13	20,99
14	20,89
15	20,82
16	20,82
17	20,79
18	20,69
19	20,66
20	19,96
21	19,93
22	19,90
23	19,84
24	19,78
25	19,34
26	19,11

## Dati antropometrici

Il peso e l'altezza dell'atleta sono due parametri considerevoli nel getto del peso in tecnica rotatoria. Questi due valori sono legati al concetto di forza, dove la massa è un valore inscindibile con l'accelerazione per produrre forza, e all'ampiezza del movimento

altezza_atleta m	peso_atleta kg
1,86	123,00
1,86	123,00
1,81	132,00
1,88	115,00
1,90	122,00
1,90	127,00
1,94	136,00
1,88	127,00
2,01	127,00
1,96	140,00
1,93	120,00
1,91	135,00
1,91	134,00
1,91	129,00
1,90	118,00
2,00	129,00
1,93	135,00
1,94	140,00
1,91	134,00
1,95	118,00
1,98	155,00
1,78	136,00
1,84	115,00
1,81	107,00
1,85	132,00
1,90	140,00



## Dati rilascio

velocità di rilascio m/s	angolo di rilascio °	altezza di rilascio m	altezza di rilascio vs altezza corpo %	distanza dal fermapiede m	posizione_tronco_al_rilascio_avanti_indietro	posizione_tronco_al_rilascio_dx_sx
14,12	37,30	2,11	113,50	0,33	-10,00	4
14,15	35,10	2,12	114,00	0,23	-11,00	-8,00
13,84	39,90	2,22	122,00	0,19	-3,00	6
13,68	37,80	2,20	117,00	0,22	-13,00	6
13,76	37,60	2,19	115,20	0,03	-21,00	1
13,88	36,10	2,11	111,00	0,13	-11,00	12
13,65	39,60	2,15	111,00	0,04	-7,00	3
13,54	43,00	2,34	124,40	0,24	-4,00	-8,00
13,72	36,40	2,10	105,00	0,14	-8,00	5
13,69	36,10	2,19	111,70	0,34	-3,00	3
13,63	35,20	2,31	119,70	0,33	-7,00	8
13,62	35,80	2,23	116,90	0,17	-12,00	-7,00
13,63	36,50	2,22	116,20	0,16	-19,00	-1,00
14,02	30,40	2,11	110,00	0,28	-4,00	2
13,72	32,90	1,97	104,00	0,33	1	14
13,51	35,00	2,40	120,20	0,19	-3,00	0
13,46	36,70	2,29	118,00	0,07	-1,00	6
13,49	36,40	2,17	112,00	0,24	-5,00	1
13,49	41,90	2,24	117,00	-0,04	-14,00	-12,00
13,24	35,00	2,08	106,00	0,29	-4,00	0
13,15	35,90	2,36	119,40	0,24	-5,00	2
13,27	36,60	2,12	119,00	0,27	7	-4,00
13,24	35,60	2,11	114,50	0,23	-9,00	5
13,24	39,40	2,08	114,90	-0,01	-11,00	-5,00
13,43	30,90	2,00	108,30	0,2	-7,00	7
13,31	30,70	2,16	113,70	0,23	-1,00	-1,00

## Velocità di rilascio

Alla fine della fase di accelerazione dove abbiamo accumulato l'energia delle due accelerazioni, subentra il passaggio delle forze acquisite all'attrezzo nella fase di bloccaggio. In questa fase l'atleta anticipa le gambe rispetto all'asse delle spalle in modo tale che ci sia un blocco di movimento di tutto il corpo che consenta di trasferire tutta l'energia sull'attrezzo. Questa energia cinetica prodotta nella fase di accelerazione viene associata a un movimento di un corpo (unione tra atleta e attrezzo) la quale si trasforma nella fase di bloccaggio in energia potenziale, ovvero un'energia associata sempre a un moto ma di due corpi ben distinti, atleta e attrezzo, sempre tra loro connessi.

Questa è detta fase di rilascio cioè il momento in cui il peso si distacca dal corpo e raggiunge il massimo della sua velocità. Il Delta T indicato nella formula rappresenta la frazione di tempo in cui vi è la variazione di velocità.

Procediamo con alcuni esempi:

Un corpo che si muove con velocità costante ha una accelerazione nulla, questo perché essendo uguali le due velocità prese in esame in due istanti differenti la loro differenza darà 0.

Diminuendo il Delta t a parità di velocità  $v_2$  e  $v_1$  è possibile aumentare l'accelerazione e di conseguenza la forza dato che  $F = m \times a$

Caso 1

$$v_1=10, v_2=15, t_1=3\text{sec}, t_2= 8\text{sec}$$

$$a_1=(15-10)/(8-3)=1 \text{ metro secondo quadro}$$

Caso 2

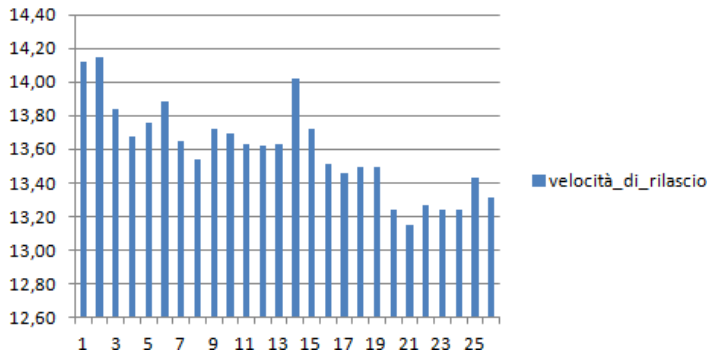
$$v_1=10, v_2=15, t_1=3\text{sec}, t_2= 5\text{sec}$$

$$a_2=(15-10)/(5-3)=2,5 \text{ metro secondo quadro}$$

come si vede  $a_2 > a_1$

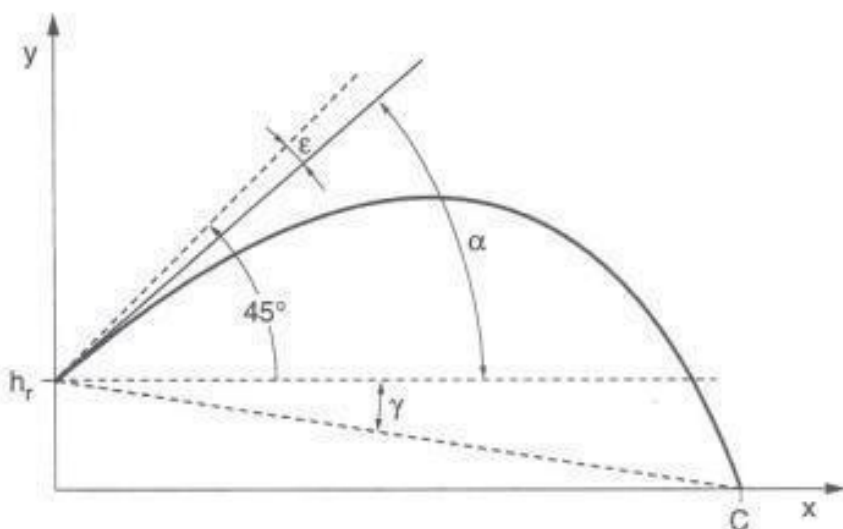


## velocità\_di\_rilascio



## Angolo di rilascio

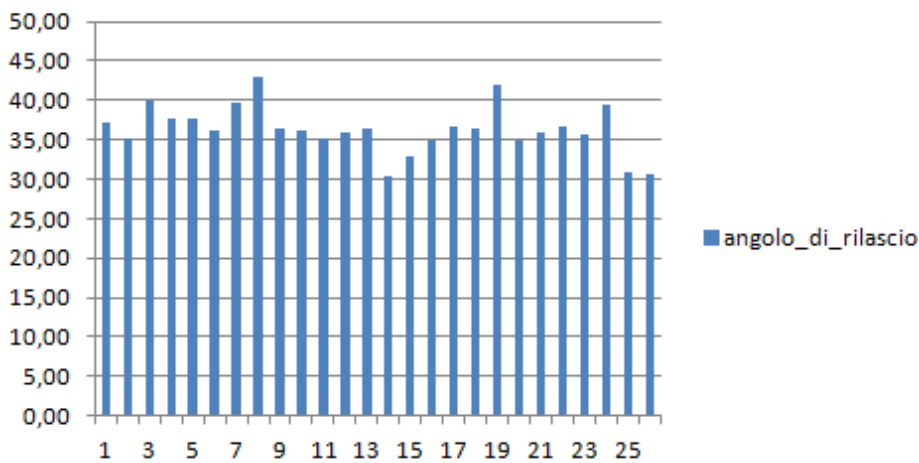
L'angolo di rilascio è un vettore variabile dato dalla combinazione tra la traiettoria del peso e una forza orizzontale del rilascio. Questa combinazione delle forze orizzontali (parallele al suolo) viene determinata dall'azione in avanti dell'atleta mentre quelle verticali (perpendicolari al suolo) nell'azione di bloccaggio dove l'atleta non potendo più proseguire in avanti convoglia le forze orizzontali in verticali. Si ricordi che l'angolo ideale di rilascio nel lancio del peso deve essere sui 35-40 gradi. Questo perché il lancio non viene eseguito da fermo ma durante uno spostamento. In fisica questo sarebbe spiegato come la somma di due vettori che formano un vettore risultante. Il vettore risultante in questo caso avrebbe un angolo approssimativo di 41 gradi. Determinante risulta in questa fase la velocità di rilascio, anch'essa dipendente dalle forze orizzontali e verticali generate dalla rotazione, può essere fortemente influenzata da una corretta decelerazione di alcuni segmenti corporei infatti, un blocco sequenziale o una decelerazione della gamba sinistra, dell'anca, della spalla e del braccio, nella parte opposta al peso, aiuterà ad aumentare la velocità del braccio di lancio.



La figura illustra la traiettoria di un peso in assenza di resistenza aerodinamica e gli angoli significativi per l'ottimizzazione della gittata. Si può osservare che la deviazione dall'angolo di 45° è conseguenza geometrica del fatto che il punto di rilascio dell'attrezzo non avviene alla quota del suolo. Questa deviazione ( $\epsilon$ ) è esattamente la metà dell'angolo  $\gamma$  che si viene a formare tra il piano del suolo e la retta

congiungente i punti di stacco (hr) e di contatto (C) al suolo del peso. Negli atleti di livello mondiale si trovano altezze dal suolo, al momento dello stacco, nell'ambito di 2,20-2,27 m per lanci superiori ai 19 m di gittata, e angoli di rilascio di 39°-42°. Questo valore combacia con il valore di 40°, il quale può essere teoricamente calcolato assumendo altezze di stacco di 2,0-2,5 m. A fini pratici, va tenuto quindi presente che l'altezza dell'atleta è un elemento importante nel determinare la lunghezza del lancio. La deviazione è inoltre influenzata dalla velocità iniziale dell'attrezzo, dal momento che sono necessari angoli di deviazione tanto maggiori quanto minore sia la velocità. L'energia totale del peso subito dopo lo stacco è data dalla somma del lavoro compiuto per sollevarlo dal punto iniziale alla quota di rilascio più l'energia cinetica corrispondente alla sua velocità di stacco. Si può calcolare che, in un lancio di 18,2 m, tale lavoro corrisponde a 732 J, di cui l'80% è dovuto all'energia cinetica. Tenendo conto del lavoro muscolare necessario per accelerare e sollevare anche il baricentro del corpo dell'atleta nel momento finale di spinta e della durata di tale lavoro, si può calcolare che la potenza meccanica generata dal lanciatore in queste condizioni è di 5 kW, pari a 6,9 HP, corrispondente ai massimi valori di potenza meccanica istantanea determinati nel soggetto umano con tecniche di misura basate sull'uso della piattaforma dinamometrica.

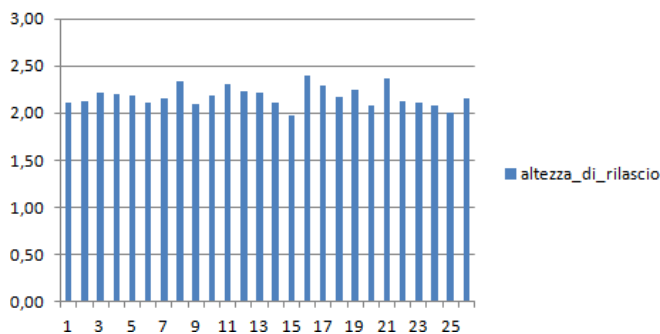
### angolo\_di\_rilascio



### Altezza di rilascio

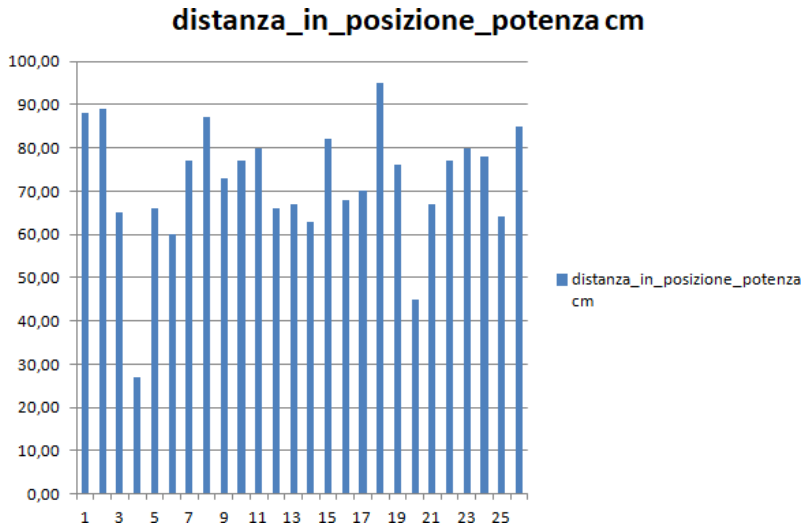
E' la distanza verticale dal centro del peso al suolo nel momento di rilascio. Questa variabile è fortemente correlata alle caratteristiche morfologiche (un atleta con le leve più lunghe è sicuramente più avvantaggiato rispetto ad uno con leve più corte) e dalle capacità condizionali dell'atleta (se un atleta ha una capacità esplosiva elevata sarà più avvantaggiato sia nella fase finale che iniziale), infatti notiamo che gli atleti più bassi sono quelli con una maggiore % nel rapporto statura e altezza di uscita del peso grazie alle loro capacità di forza esplosiva

### altezza\_di\_rilascio



## Distanza dei piedi nella posizione di potenza

E' la distanza antero-posteriore tra i due piedi nella posizione di potenza. Questa è la fase che avviene prima del bloccaggio. E' fondamentale in quanto si acquisisce la posizione di equilibrio di base d'appoggio. Questa posizione che è data dalla linea verticale che passa per il baricentro e cade all'interno della sua base di appoggio, determina la capacità dell'atleta nell'utilizzare in modo ottimale la forza accumulata . La posizione del peso in questa fase dovrebbe essere il più lontano possibile dall'asse di battuta quindi è necessario modificare il baricentro dell'atleta per aumentare la base di equilibrio d'appoggio. Questo avviene attraverso la chiusura dell'angolo della gamba di spinta e l'aumento della tensione muscolare della gamba di bloccaggio.



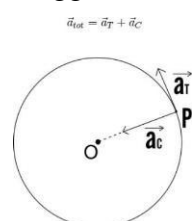
## Dati velocità del peso

spinta_gamba_dx m/s	spinta_gamba_sx m/s	ripresa_gamba_dx m/s	sostegno_gamba_sx m/s	distacco_gamba_dx m/s	distacco_gamba_sx m/s
2,78	1,16	1,51	2,74	11,21	12,96
2,38	1,36	1,61	2,91	11,39	12,99
1,71	2,25	2,43	1,61	9,99	11,07
2,10	2,06	1,01	1,77	10,85	12,40
2,33	2,88	1,69	1,93	12,49	11,96
2,08	2,93	1,86	2,34	11,32	12,98
2,09	1,48	1,57	2,10	10,77	13,50
2,54	1,07	1,35	1,09	11,95	12,32
1,65	1,63	2,20	1,35	13,43	12,82
2,23	1,76	1,27	1,04	10,32	10,32
2,85	1,71	1,55	0,95	10,32	11,48
2,24	2,72	0,74	1,27	13,23	13,51
2,77	1,59	1,05	1,50	10,10	10,89
2,52	1,79	0,93	1,11	8,70	11,59
1,34	1,24	1,23	2,76	9,79	11,29
1,60	1,83	2,33	1,68	9,91	8,58
1,84	1,58	2,05	0,51	10,16	10,58
2,02	1,33	1,21	2,73	9,88	12,55
2,15	1,99	1,47	2,10	13,42	12,49
1,83	1,71	1,01	1,93	10,35	12,15
1,55	2,62	1,11	1,52	10,27	10,27
2,19	1,29	1,18	1,19	11,57	12,44
2,09	1,32	1,64	2,55	10,76	9,36
1,67	1,90	0,94	1,68	12,91	11,79
2,39	2,14	1,79	1,77	10,94	10,94
1,81	2,04	1,65	2,16	8,12	11,88

Un elemento che determina la velocità del peso è senza dubbio l'accelerazione. Questa la possiamo identificare come un'azione di movimento decrescente individuata in fase di appoggio singolo, doppio e in fase di volo. L'accelerazione del getto del peso avviene in due stadi: un'accelerazione rotatoria seguito da un'accelerazione lineare. Fisicamente l'accelerazione rotatoria si ha quando un corpo rigido compie un moto circolare uniforme attorno all'asse di rotazione del corpo. Questa energia prodotta non è altro che il risultato di due forze, centrifuga e centripeta. Da un punto di vista del lancio del peso, ci interessa analizzare alcuni elementi che sono il punto di contatto dell'atleta con il suolo (piede di singolo appoggio) il quale viene definito come il punto dell'asse di rotazione o il punto di equilibrio. Quest'ultimo è la risultante di uno spostamento orizzontale. La rotazione, cioè il mantenimento del corpo su una traiettoria circolare, è resa possibile dall'esistenza delle due forze, una forza effettiva che permette all'atleta di muoversi su una azione circolare senza sfuggire lungo la tangente, attraendo il corpo (baricentro) verso il centro della circonferenza della pedana



Questa forza si contrasta con una forza apparente che vale solamente nei sistemi non inerziali e che attrae, appunto, il peso verso l'esterno. In questa fase l'atleta fa ruotare l'attrezzo in un moto circolare uniforme il quale tenderebbe, per inerzia, a muoversi in linea retta lungo la tangente, ma un'azione dell'atleta il quale lo tiene verso di sé con l'azione del braccio e della mano, obbligandolo continuamente a modificare la direzione della velocità, poi al momento propizio l'atleta lascia il peso che, non essendo più soggetto alla forza centripeta, sfugge lungo la sua tangente carico di energia accumulata. Queste due forze solo se in equilibrio tra di loro producono benefici; nell'altro caso uno squilibrio porterebbe causare l'impossibilità di completare in modo corretto l'azione motoria. Durante tutta questa fase il peso raggiunge una velocità angolare superiore a quella del punto di equilibrio dell'atleta; questo si verifica perché come si può vedere dall'immagine sottostante, fisicamente più si è distanti dal punto di rotazione maggiore sarà la velocità angolare a causa dell'aumento del raggio.



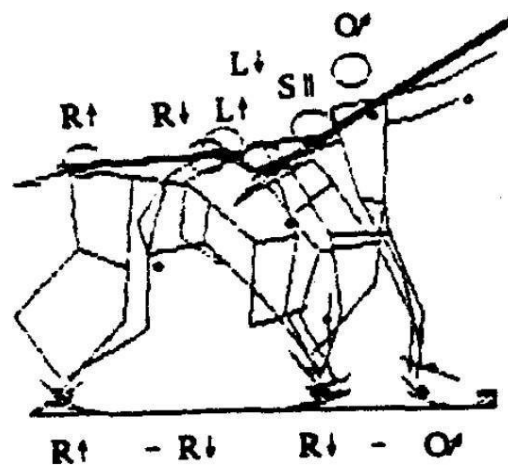
Al termine della fase rotatoria abbiamo un'accelerazione lineare dove il corpo varia la sua velocità lungo un'aretta e grazie a questa fase ci permette di applicare al meglio tutte le fasi successive del lancio, come l'arrivo nella posizione di forza, anticipazione del bloccaggio e ottimizzazione dell'angolo di uscita, e di utilizzare al meglio l'energia accumulata durante le fasi precedenti

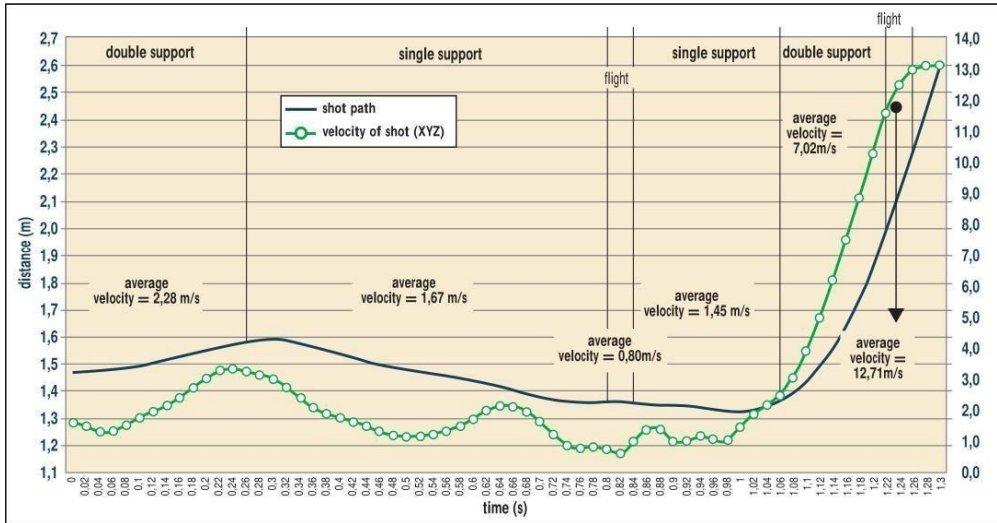
## Dati altezza peso

spinta_gamba_destra m	spinta_gamba_sinistra m	arrivo_gamba_dx m	arrivo_gamba_sx_blocco suolo m
1,45	1,43	1,37	1,27
1,40	1,39	1,34	1,27
1,32	1,38	1,39	1,26
1,39	1,47	1,48	1,39
1,33	1,45	1,42	1,28
1,34	1,42	1,39	1,22
1,46	1,42	1,38	1,26
1,42	1,32	1,32	1,20
1,23	1,41	1,41	1,24
1,44	1,41	1,42	1,34
1,41	1,49	1,49	1,38
1,33	1,47	1,49	1,30
1,47	1,50	1,52	1,43
1,46	1,51	1,55	1,45
1,31	1,25	1,21	1,15
1,40	1,49	1,47	1,40
1,49	1,50	1,53	1,40
1,52	1,52	1,43	1,31
1,36	1,45	1,42	1,22
1,48	1,44	1,43	1,28
1,44	1,49	1,48	1,36
1,45	1,42	1,44	1,32
1,53	1,40	1,40	1,32
1,39	1,34	1,33	1,25
1,28	1,35	1,34	1,28
1,46	1,61	1,57	1,39

l'altezza (posizione verticale del peso durante il movimento) è legata in modo predominante dalle forze verticali e dal lavoro concentrico-eccentrico dell'atleta il quale con questa alternanza di contrazione crea un accumulo di energia per poi essere rilasciata al termine dell'azione

La posizione verticale del peso e la velocità nelle fasi chiave del movimento sono due parametri che dipendono dalla risultante delle forze orizzontali e verticali prodotte durante fasi chiave

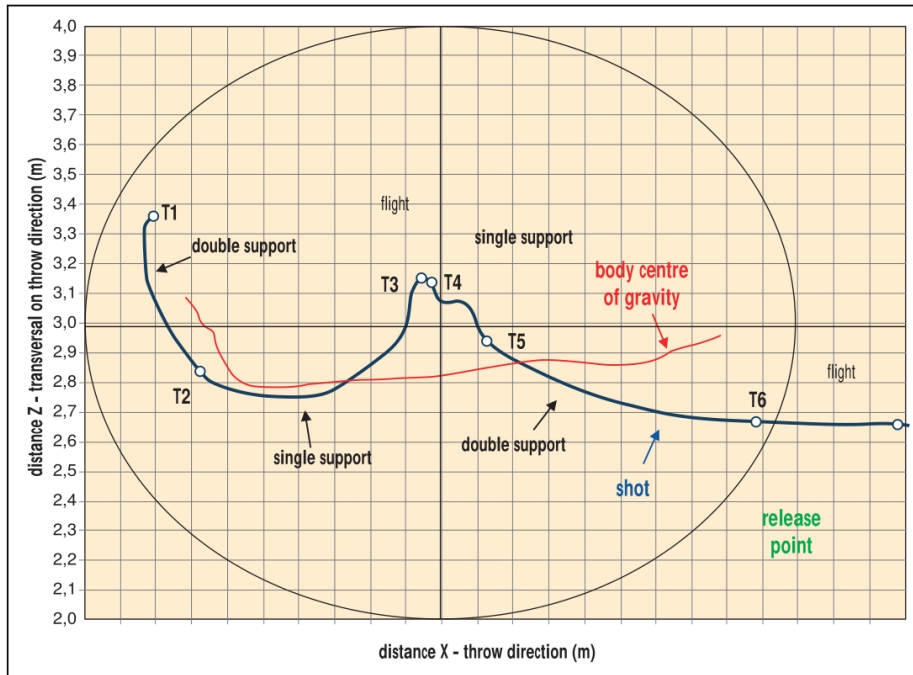




## Dati percorso attrezzo

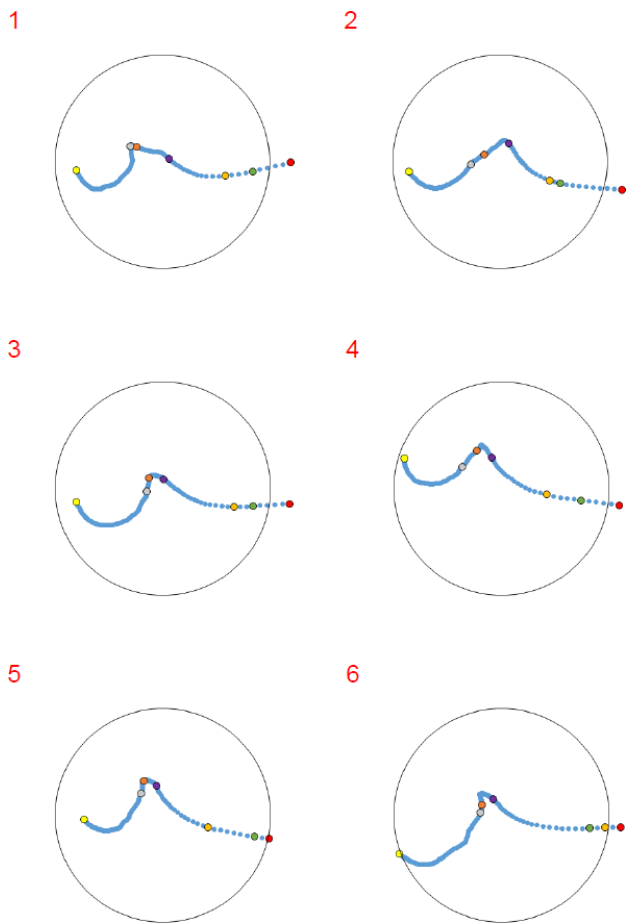
distanza_da_spinta_gamba_dx_a_spinta_gamba_sx_fuori m	distanza_da_spinta_gamba_dx_a_ripresa_dx_centro_pedana m	da_contatto_dx_a_centro_arrivo_sx_a_terra m	da_contatto_sx_a_rilascio m	percorso_totale m
0,87	0,10	0,40	1,59	2,96
0,92	0,11	0,35	1,39	2,77
0,78	0,16	0,33	1,58	2,85
0,98	0,14	0,20	1,52	2,84
0,98	0,18	0,27	1,55	2,98
0,79	0,23	0,32	1,62	2,96
0,79	0,14	0,23	1,51	2,67
0,88	0,08	0,26	1,73	2,95
1,08	0,08	0,32	1,56	3,04
1,03	0,11	0,17	1,67	2,98
0,99	0,10	0,27	1,75	3,11
0,99	0,15	0,31	1,59	3,04
0,94	0,07	0,25	1,54	2,80
0,89	0,10	0,24	1,47	2,70
0,86	0,05	0,37	1,45	2,73
0,87	0,09	0,24	1,75	2,95
0,92	0,14	0,28	1,55	2,89
0,82	0,15	0,28	1,68	2,93
0,95	0,12	0,31	1,52	2,90
0,75	0,06	0,36	1,52	2,69
1,03	0,16	0,24	1,72	3,15
0,88	0,10	0,25	1,65	2,88
0,85	0,07	0,31	1,50	2,73
0,95	0,07	0,29	1,49	2,80
1,02	0,11	0,20	1,54	2,87
1,01	0,17	0,31	1,62	3,11

## Lunghezza del percorso di lancio



La distanza totale percorsa dal peso nella pedana la definiamo lunghezza del percorso di lancio; questa distanza viene calcolata partendo dal movimento iniziale del peso al suo rilascio dalla mano. La misura della distanza di percorrenza del peso è legata alla capacità di rotazione dell'atleta e dal tempo che l'atleta tiene il peso prima del suo rilascio. Una rotazione ampia del peso permette una maggior percorrenza (circa 3.50 mt sui 2.13 della pedana) quindi una maggiore possibilità di accelerare l'attrezzo. Questa comunque per una serie di forze contrastanti non coincide con la percorrenza dell'atleta la quale è nettamente inferiore. Inoltre la lunghezza della percorrenza dipende anche dal momento in cui l'atleta lascia il peso dalla mano. In questa fase cioè la distanza dal fermapiè al momento in cui rilascia il peso è determinate l'equilibrio che si deve trovare tra altezza di rilascio e il tempo di spinta





Indubbiamente le fasi che determinano la distanza del percorso vengono da spinte e contatti degli arti inferiori: la spinta della gamba dx a quella della sx in fuori, la spinta della gamba sx fino alla ripresa dx centro pedana, il contatto dx al centro all'arrivo sx a terra, il contatto della sx al rilascio

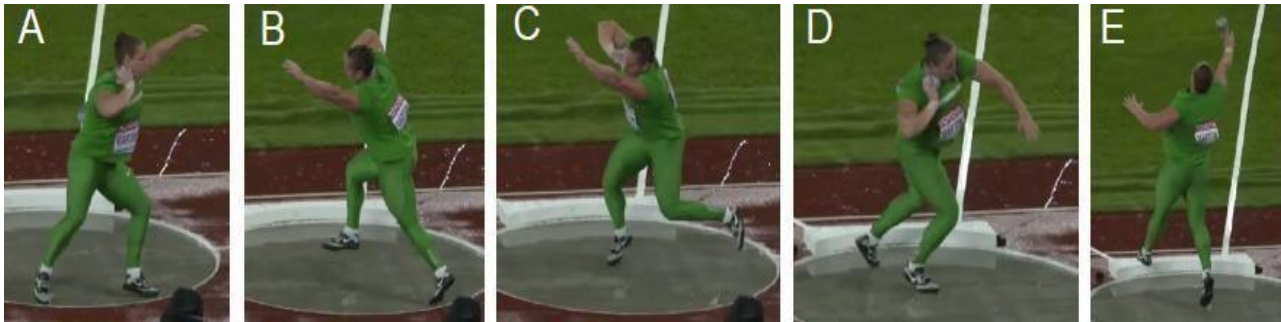
## Dati durata chiave

tempo_spinta_gambe_dx_sx sec	tempo_distacco_gamba_sx_fino_arrivo_dx_centro_pedana sec	tempo_da_arrivo_gamba_dx_a_quello_sx sec	tempo arrivo da_arrivo_gamba_blocco_sx_al_rilascio sec
0,445	0,095	0,195	0,180
0,447	0,100	0,193	0,167
0,433	0,067	0,206	0,220
0,420	0,080	0,180	0,206
0,420	0,090	0,185	0,185
0,400	0,093	0,187	0,193
0,426	0,087	0,173	0,180
0,490	0,070	0,205	0,255
0,587	0,040	0,233	0,227
0,530	0,075	0,200	0,245
0,490	0,060	0,200	0,250
0,395	0,070	0,180	0,225
0,455	0,065	0,225	0,195
0,446	0,074	0,193	0,193
0,487	0,040	0,200	0,193
0,460	0,035	0,205	0,255
0,513	0,067	0,200	0,226
0,455	0,120	0,150	0,200
0,407	0,067	0,226	0,200
0,454	0,046	0,254	0,206
0,480	0,070	0,210	0,255
0,445	0,085	0,165	0,245
0,535	0,045	0,215	0,205
0,455	0,065	0,190	0,215
0,390	0,055	0,215	0,205
0,445	0,100	0,190	0,205



Durata delle fasi chiave ( Il tempo totale impiegato per eseguire ciascuna fase chiave)

La durata delle fasi chiave della tecnica di rotazione legate alla velocità del peso sono : A) spinta della gamba destra, B) distacco dal suolo della gamba sinistra; C) arrivo al centro a terra della gamba destra; D) arrivo a terranel finale della gamba di bloccaggio; E) rilascio.



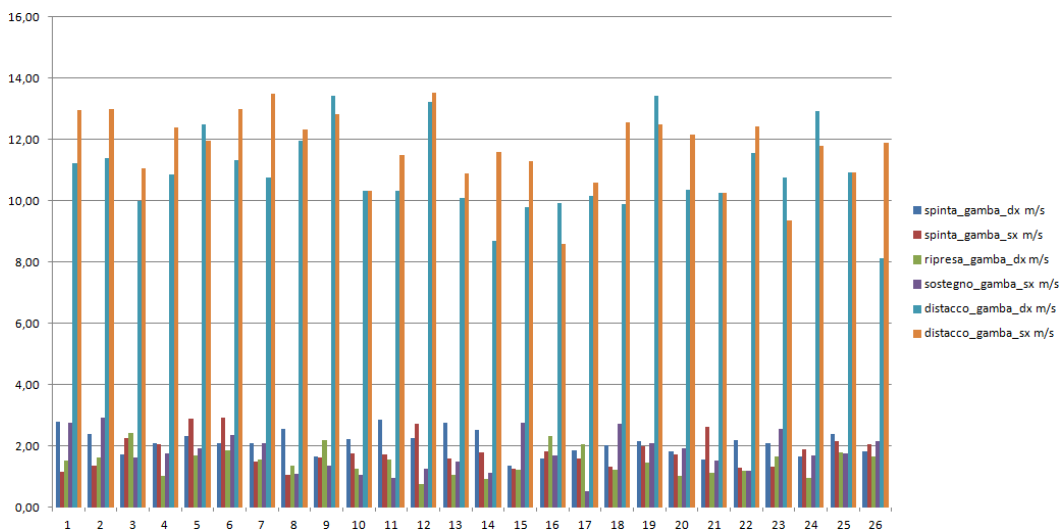
La velocità è un elemento caratteristico di questa fase; il prodotto della massa per la velocità ci fornisce il momento e aumentando il momento si aumenta l'impulso (applicazione di una forza per un tempo molto piccolo) sul peso che permette di aumentare la sua velocità .

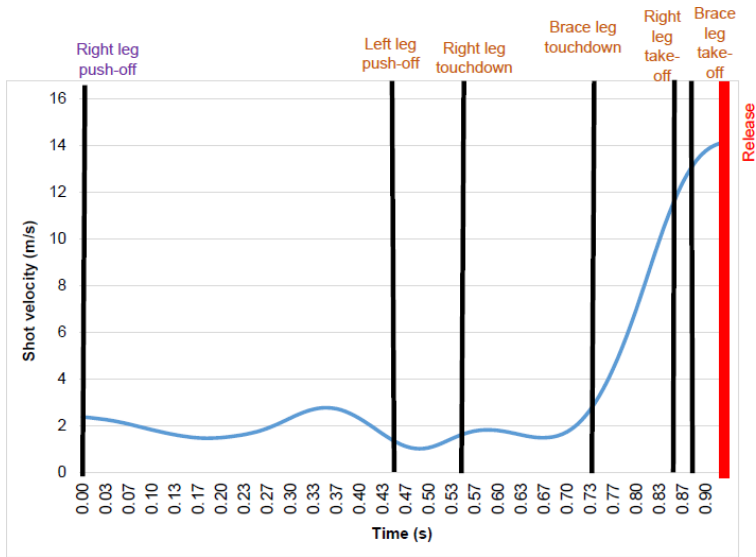
questa variabile è legata quindi alla lunghezza del tragitto, rappresenta la distanza cumulativa percorsa dal peso attraverso la pedana; senza dubbio in questo caso l'equilibrio delle forze centrifughe e centripete sono basilari per la risultanza di questa variabile

the first double support phase B1	the first single support phase B2	the flight phase B3	the second single support phase B4	the second double support phase B5	the flight phase B6
0,28 s	0,54 s	0,04s	0,22 s	0,16 s	0,04s

Da queste tabelle valutiamo che la fase di volo, che dura solo 0.04 secondi, è la fase dove in tutta l'azione motoria del lancio la velocità decresce 0.87m/s; per questa sua caratteristica, unica delle sei fasi di movimento della tecnica rotatoria, la possiamo definire la fase più critica del lancio. Il motivo per il quale abbiamo questo rallentamento sensibile della velocità si può giustificare con il fatto che il lanciatore durante questa azione non è in contatto con il suolo e ha un precario equilibrio di base di appoggio e quindi non può contribuire all'accelerazione del lancio. In questa fase le gambe hanno superato il busto e il lancio in termini di rotazione longitudinale non può trarne più benefici . Da qui possiamo dedurre che una lunghezza troppo elevata di una fase di volo può interrompere il ritmo del movimento del sistema lancio nella sua globalità questo perché diminuisce lo spazio della base di appoggio quindi di conseguenza abbiamo un equilibrio instabile. Una volta che vi è l'appoggio del piede sinistro sul suolo di fronte al cerchio di lancio, ha inizio la seconda fase del doppio supporto, la quale ha un ruolo cruciale nell'efficienza dell'azione di rilascio. In questa fase la velocità del lancio cresce rapidamente fino a 5.6 m/s. Se la rapportiamo, sotto un aspetto generale, questa produce il 55% della massima velocità del lancio. Si arriva poi alla fine della seconda doppia fase di supporto dove il soggetto è già nella fase di volo e la sua velocità è di 13 m/s . La velocità media portata a termine nella fase di doppio supporto conta il 77% della velocità finale di rilascio. All'inizio della seconda fase di doppio supporto l'attrezzo è nella posizione più bassa dell'intero percorso (l'altezza del peso qui è circa del 60% dal punto di rilascio).

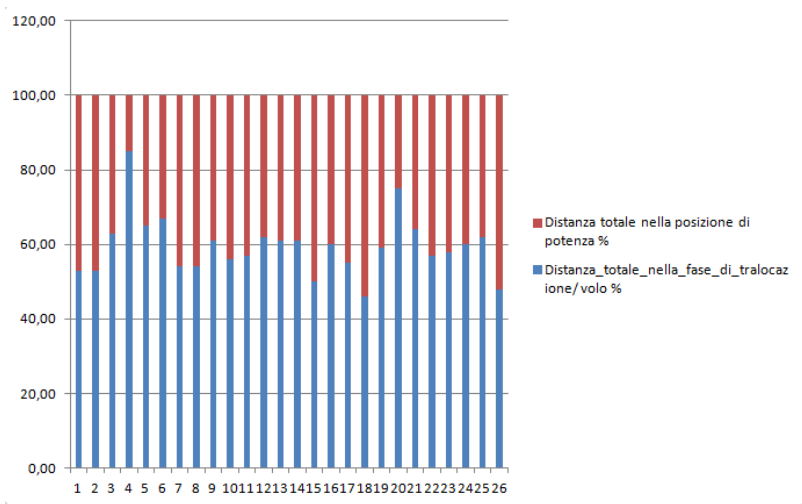
Poi si arriva nella fase centrale dove è applicata la forza del lancio nella sua azione finale di accelerazione e dove l'attrezzo si trova al 75% dell'altezza massima raggiungibile. Da qui il peso risale considerevolmente fino ad arrivare all'altezza ideale per il suo rilascio. Una bassa posizione del peso dipende fortemente dall'angolo del ginocchio destro, che è di circa  $115^\circ$ , mentre l'angolo del ginocchio sinistro è di  $122^\circ$ . Questa considerevole ammortizzazione del ginocchio all'inizio della seconda fase di doppio supporto dipende dalla forza di estensione dei muscoli della gamba ed è in questo segmento che l'atleta esprime al massimo le proprie abilità biomotorie. La seconda fase di doppio supporto è uno degli elementi chiave dell'intera struttura della tecnica rotatoria. La posizione del busto, in particolar modo la differenza tra l'asse dell'anca e l'asse delle spalle, è importante per la generazione di potenza al momento del rilascio. Lo scopo di questa fase è quello di incrementare il momento di forza tra l'asse delle spalle e l'asse dell'anca. Più alta è la torsione del corpo, maggiore sarà l'accumulazione di forza elastica per la fase di rilascio. Durante la fase di volo si ha massima tensione data dalle torsioni tra l'asse dell'anca e quella delle spalle che viene mantenuta nella fase del singolo supporto e quindi rilasciata a metà della seconda fase di doppio supporto. La somma di forze dette elastiche dipende dall'attività concentrica-eccentrica del muscolo: maggiore è velocità di cambiamento di un'attività muscolare ad un'altra, maggiore sarà la forza elastica trasferita nella fase concentrica. Il criterio di efficacia di torsione tra l'asse delle spalle e l'asse dell'anca è l'angolo tra i due. All'inizio della seconda fase di doppio supporto l'angolo tra l'asse delle spalle e l'asse dell'anca è di  $48^\circ$  mentre a metà di questa fase è di  $14^\circ$ . La diminuzione di  $34^\circ$  di questo angolo mostra che i fianchi ruotano più velocemente delle spalle. L'aumento della torsione conduce ad una estensione dei muscoli del tronco che generano una forza potenziale per l'esecuzione del lancio. In conclusione la durata della fase chiave è data dal rapporto che si crea tra gli angoli e i tempi di spinta degli arti inferiori.





### Distanza percorsa nella pedana

distanza_nella_fase_traslocazione_volo m	distanza_in_posizione_potenza m	Distanza_totale_nella_fase_di_tralocazione/ volo %	Distanza_totale_nella_posizione_di_potenza %
0,99	0,88	53,00	47,00
0,99	0,89	53,00	47,00
1,13	0,65	63,00	37,00
1,50	0,27	85,00	15,00
1,2	0,66	65,00	35,00
1,23	0,60	67,00	33,00
0,91	0,77	54,00	46,00
1,02	0,87	54,00	46,00
1,16	0,73	61,00	39,00
0,98	0,77	56,00	44,00
1,04	0,8	57,00	43,00
1,07	0,66	62,00	38,00
1,06	0,67	61,00	39,00
0,99	0,63	61,00	39,00
0,81	0,82	50,00	50,00
1,01	0,68	60,00	40,00
0,86	0,70	55,00	45,00
0,82	0,95	46,00	54,00
1,10	0,76	59,00	41,00
1,36	0,45	75,00	25,00
1,17	0,67	64,00	36,00
1,04	0,77	57,00	43,00
1,09	0,8	58,00	42,00
1,16	0,78	60,00	40,00
1,03	0,64	62,00	38,00
0,79	0,85	48,00	52,00



## Lunghezza della fase di traslocazione o di volo

(La distanza antero-posteriore percorsa in pedana durante la fase di traslocazione o volo)

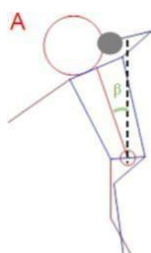
Questa fase è legata al rapporto ampiezza e alla velocità degli arti inferiori durante il movimento. Inizialmente si va cercare la massima ampiezza del raggio di rotazione a discapito di una rotazione stretta e rapida in modo tale che al termine di questa abbiamo una velocità di uscita importante che ci permette di rendere l'azione di volo la più breve possibile e di arrivare alla posizione di potenza in pieno equilibrio

## Dati angoli di separazione tra spalle e anche

### Posizione avanti-dietro del tronco al rilascio

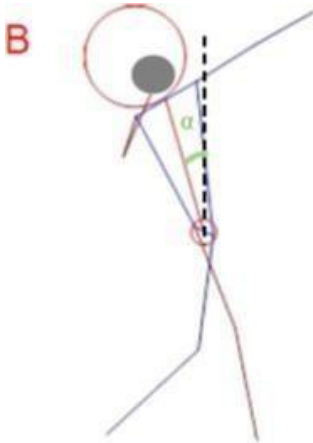
gradi_Spinta_gamba_dx_fuori (°)	Spinta_gamba_sx_fuori(°)	ripresa_gamba_destra (°)	arrivo_a_terra_gamba_blocco (°)
4	8,00	14	30,00
6	9,00	15	36,00
20	67,00	64	57,00
4	29,00	56	62,00
-22,00	18,00	26	33,00
17	45,00	53	42,00
5	35,00	41	42,00
-7,00	3,00	15	66,00
-25	27,00	47	63,00
1	3,00	3	82,00
-8,00	10,00	9	85,00
-35,00	10,00	14	31,00
0	11,00	18	61,00
-7	30,00	39	71,00
-23	10,00	27	34,00
-8,00	17,00	1	67,00
-3	28,00	47	65,00
-5,00	13,00	17	35,00
13	46,00	29	48,00
22	54,00	44	53,00
-7,00	9,00	12	52,00
-35,00	25,00	17	81,00
-9,00	4,00	-1,00	46,00
-10,00	8,00	-5,00	48,00
-31,00	24,00	13	53,00
-17,00	5,00	18	43,00

La posizione del tronco avanti-indietro indica l'angolo rispetto alla verticale. Pertanto, 0 ° identifica che il tronco è posizionato verticalmente, mentre un angolo positivo identifica che il tronco è inclinato verso la parte anteriore del cerchio ad esempio tronco in avanti. Al contrario, un angolo negativo indica che il tronco è pendente verso la parte posteriore del cerchio ad esempio tronco all'indietro; questa è la fase in cui abbiamo l'inizio della torsione del tronco con l'accumulo di forza elastica



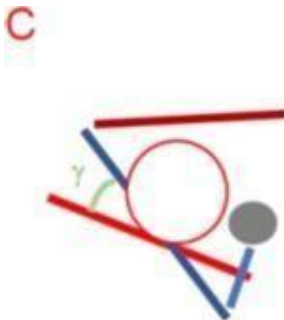
## Tronco posizionato a dx – sx al rilascio

Il tronco posizionato a sinistra-destra indica l'angolo rispetto alla verticale. Pertanto,  $0^\circ$  indica il tronco posizionato verticalmente, mentre un angolo positivo indica che il tronco è inclinato verso la destra del cerchio (ad es. tronco inclinato a dx) visto da dietro. Il contrario, rappresenta un angolo negativo in cui il tronco è inclinato verso sinistra del cerchio (per esempio tronco inclinato verso sinistra) visto da dietro. Questa è la fase dove la forza elastica accumulata viene rilasciata



## Angolo di separazione tra le spalle e le anche

L'angolo tra la linea delle spalle e la linea delle anche non è altro che l'angolo di separazione tra l'asse delle anche e quello delle spalle, che rappresenta l'angolo tra la linea delle spalle e la linea delle anche. Pertanto, potremo avere un angolo negativo di separazione il quale indica che l'asse delle spalle è avanti rispetto all'asse delle anche nel movimento angolare percorso e allo stesso modo, un angolo di separazione positivo indica che l'asse delle anche è davanti a quello delle spalle nel percorso di movimento angolare. In generale, la maggior parte dei lanciatori ha al rilascio un valore negativo, in quanto la linea delle loro spalle si incrocia davanti alla linea delle anche



## Conclusione e commento tecnico

Il getto del peso fa parte della famiglia dei lanci dell'atletica leggera. Questa disciplina è caratterizzata da 2 tecniche apparentemente diverse, quella rotatoria e quella lineare, ma simili nella sostanza. Difatti, le uniche differenza che le divide è il modo in cui avviene l'accelerazione iniziale e utilizzo di genere (gli uomini utilizzano maggiormente la tecnica rotatoria, le donne la tecnica lineare). Nell'analisi del getto del peso in rotazione si può dire che si tratta di una specialità molto tecnica e complessa dove lo scopo è di far percorrere a un oggetto, dentro a una pedana di mt 2.13, una traiettoria più o meno lunga. Questo si ottiene attraverso l'attivazione della catena cinetica, ovvero dal collegamento di più segmenti del corpo che consente il trasferimento di forze e movimento.

Il modello prestazionale del lancio è diviso in fasi tra loro collegate e correlate, dove forze orizzontali e verticali si sommano e si accumulano per poi essere liberate al momento del rilascio del peso. Questi momenti sono suddivisi in :

Fase di accelerazione, dove le forze orizzontali date dall'equilibrio tra la forza centrifuga e centripeta sono predominanti su quelle verticali. E' in questa fase che l'energia prodotta dalla somma di queste forze viene associata a un moto, in questo caso circolare, di un corpo atleta e attrezzo .

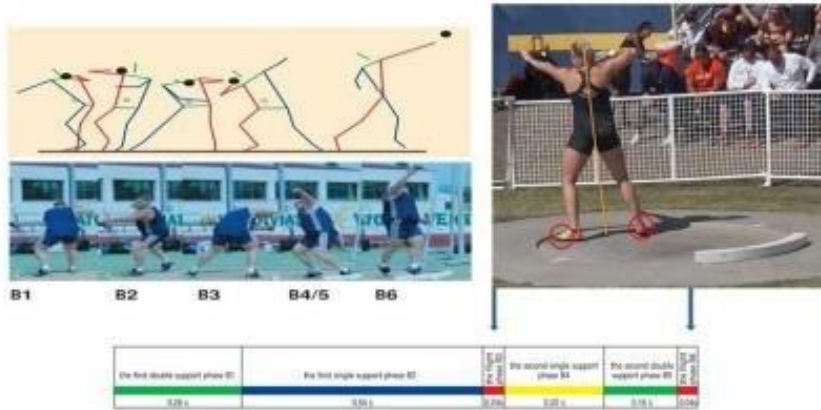
Fase di bloccaggio, dove invece si ha una prevalenza delle forze date dalle componenti verticali, in questo caso da forze prevalentemente eccentriche.

Fase del rilascio, dove le forze verticali sono sempre predominanti ma cambia il tipo di contrazione, prevalentemente concentrica. E' in quest'ultima fase che l'energia, prodotta e accumulata nelle fasi precedenti, viene associata a un moto rettilineo dei due corpi (atleta e attrezzo) per poi essere rilasciata solo su quest'ultimo .

In tutte queste fasi vi sono molti passaggi determinanti per il risultato finale ma senza dubbio uno dei più determinanti è che in ogni movimento l'atleta, per poter sfruttare al meglio le combinazioni di forze e la tecnica, dovrà essere in continuo "equilibrio sulla base di appoggio", ovvero in ogni azione la retta che passa dal baricentro dovrà essere perpendicolare alla base di appoggio. Infatti l'unica fase del lancio in cui è presente una diminuzione di velocità è quella del mono appoggio, dove infatti l'equilibrio sulla base di appoggio è molto precario.

## Equilibrio base di appoggio

Quando la linea verticale che passa per il centro di gravità (baricentro) cade all'interno della sua base d'appoggio.



I dati sono presi da uno studio della IAAF e permettono di definire le variabili e i dati da inserire. Lo studio in questione ha titolo:

*“ BIOMECHANICAL REPORT FOR THE WORLD INDOOR CHAMPIONSHIPS 2018 Shot Put Men Birmingham uk*

*BIOMECHANICAL REPORT FOR THE WORLD CHAMPIONSHIPS 2017 Shot Put*

*Men's London uk*

*Dr Alex Dinsdale, Aaron Thomas and Dr Athanassios Bissas Carnegie School of Sport Stéphane Merlino IAAF Project Leader)”*

Per facilità di lettura i calcoli veri e propri sono riportati in un capitolo a se stante, in questo capitolo sono riportate solo i grafici risultanti.

## Definizioni delle variabili esaminate nel lancio del peso

Variabile	Definizione
Velocità di rilascio	La velocità risultante al rilascio del peso.
Angolo di rilascio	L'angolo tra la traiettoria del peso e l'orizzontale al rilascio.
Altezza di rilascio	La distanza verticale dal centro del peso al suolo al rilascio.
Distanza dal fermapiede	La distanza orizzontale del peso dal fermapiede al momento del rilascio.
Lunghezza del percorso di lancio	La distanza totale percorsa dal peso nella pedana.
Altezza del peso	La posizione verticale del peso nelle fasi chiave del movimento.
Velocità del peso	La velocità risultante del peso nelle fasi chiave del movimento.
Lunghezza della fase di traslocazione o	La distanza antero-posteriore percorsa in



di volo	pedana durante la fase di traslocazione o volo.
Distanza dei piedi nella posizione di potenza	La distanza antero-posteriore tra i due piedi nella posizione di potenza.
Durata delle fasi chiave	Il tempo totale impiegato per eseguire ciascuna fase chiave.
Posizione avanti-dietro del tronco al rilascio ( $\alpha$ )	La posizione del tronco avanti-indietro indica l'angolo rispetto alla verticale (vedi Figura 4). Pertanto, $0^\circ$ identifica che il tronco è posizionato verticalmente, mentre un angolo positivo identifica che il tronco è inclinato verso la parte anteriore del cerchio (ad esempio tronco in avanti). Al contrario, un angolo negativo indica che il tronco è pendente verso la parte posteriore del cerchio (ad esempio tronco all'indietro).
Tronco posizionato a dx – sx al rilascio ( $\beta$ )	Il tronco posizionato a sinistra-destra indica l'angolo rispetto alla verticale (vedi Figura 4). Pertanto, $0^\circ$ indica il tronco posizionato verticalmente, mentre un angolo positivo indica che il tronco è inclinato verso la destra del cerchio (ad es. tronco inclinato a dx) visto da dietro. Il contrario, rappresenta un angolo negativo in cui il tronco è inclinato verso sinistra del cerchio (per esempio tronco inclinato verso sinistra) visto da dietro.
Angolo di separazione tra le spalle e le anche ( $\gamma$ )	L'angolo tra la linea delle spalle e la linea delle anche (vedi Figura 4), dove un angolo di separazione negativo indica che l'asse delle spalle è davanti all'asse delle anche nel percorso di movimento angolare.

Questo lavoro si concentra sulle relazioni e correlazioni delle variabili dei migliori lanci effettuati da ciascun concorrenti.

### Le relazioni tra variabili

Le relazioni che vengono maggiormente individuate sono legate per lo più alla fase di rilascio.

Infatti i migliori due risultati sono stati quello con la più alta velocità di rilascio registrata con 14,15 m / s e 14.12 m/s. Inoltre i primi classificati nelle competizioni hanno generato le maggiori velocità di rilascio come gruppo, confermando il concetto che la velocità di rilascio è il fattore più importante nel determinare la distanza ottenuta. L'unica eccezione è data dal atleta n°14, il quale ha registrato una velocità di rilascio di 14,02 m / s. Tuttavia, questo lancio è stato effettuato con un angolo di rilascio inferiore a  $30,4^\circ$ , quindi la distanza di lancio non è stata ottimale. È possibile generare velocità di



rilascio più elevate agli angoli inferiori, quindi trovare l'equilibrio ottimale tra velocità di rilascio e angolo di rilascio è la chiave.

Infine all'interno del gruppo dei migliori c'erano anche i tre valori più alti per raggiungere velocemente il fermapiede, associati alle più basse altezze e angoli di rilascio, cosa che suggerisce che c'è una relazione inversa tra le variabili. Tuttavia, gli atleti n°1, n°2 e n°3 sono stati in grado di registrare i tre valori più alti di velocità per raggiungere il fermapiede, pur trovando ancora il modo di mantenere alti valori d'altezza e angolo di rilascio.

## Le correlazioni tra le variabili

Nel grafico 1 si riportano le correlazioni tra variabili.

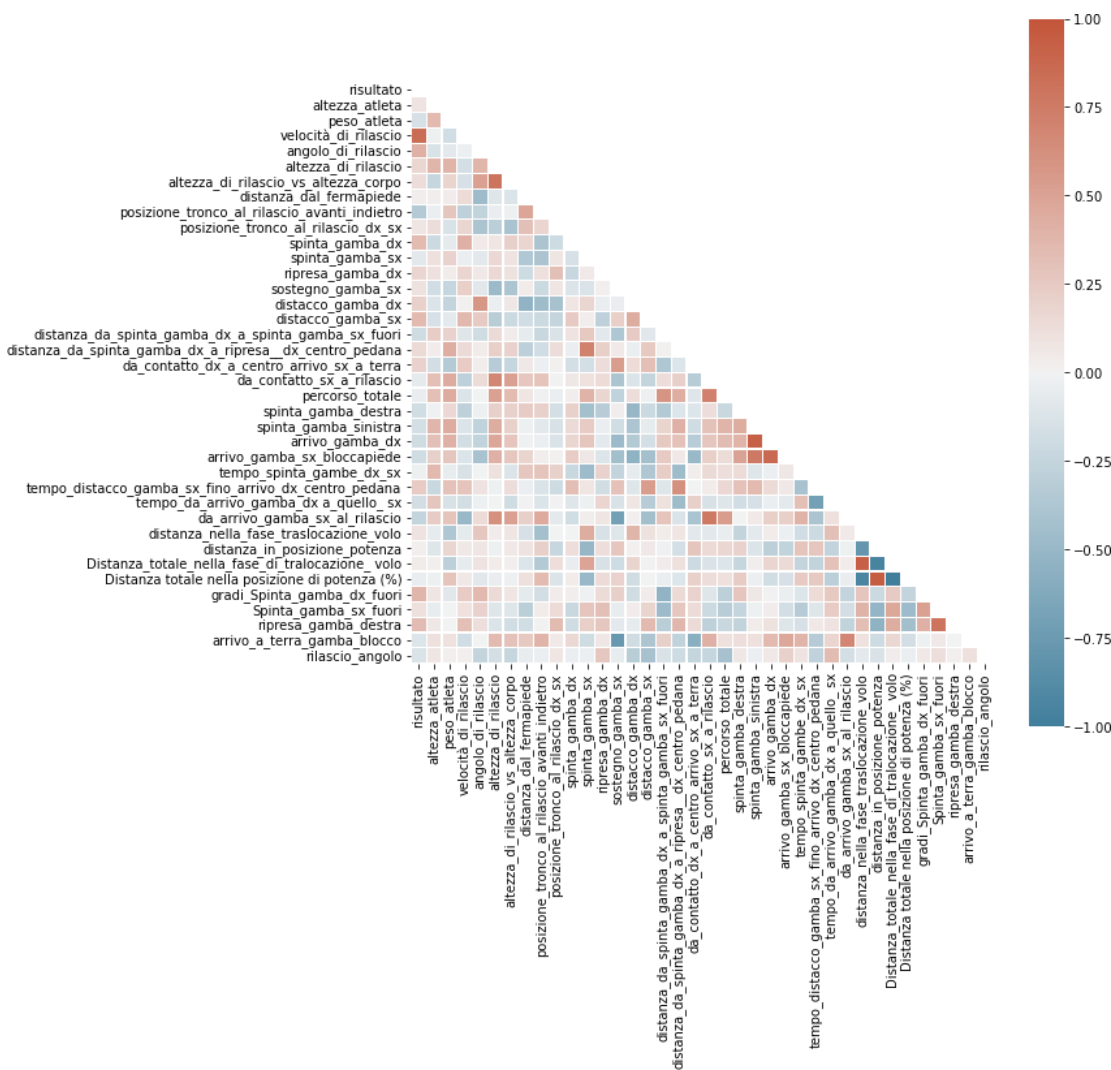


Grafico 1: correlazione tra variabili

Le correlazioni tra parametri analizzati non danno grandi informazioni riguardo quali siano, tecnicamente, i migliori valori di ogni singolo parametro. Questo perché la tecnica di lancio con rotazione ha un livello di complessità talmente elevato che la carenza di un valore di un certo parametro può essere colmata da un valore differente di un altro. Si veda ad esempio una bassa velocità di uscita del peso ma con un angolo che rasenta l'ottimale. Inoltre, esistono delle capacità condizionali, ovvero delle variabili di cui non si può stimare un valore, che influiscono anch'esse sul lancio.

Nel grafico 2 le variabili seguono una gerarchia, dall'alto al basso si va dalla più influente alla meno influente. Si noti quindi come la variabile più influente su un buon risultato sia la velocità di uscita dell'attrezzo. La meno influente è l'altezza dell'atleta. Nel grafico, il rosa indica un alto valore della variabile e un'alta influenza sul risultato e il blu un basso valore della variabile e una bassa influenza sul risultato. Sull'asse recante il "SHAP value" si ha il valore dell'incidenza della variabile sul risultato, ovvero se la variabile influisce positivamente o negativamente. Si avrà quindi che, per quanto riguarda la velocità di rilascio, alti valori di questa influiscono in maniera positiva sulla riuscita del lancio, bassi valori di velocità di rilascio influiscono in forma negativa ma in maniera minore (pallino blu, bassa influenza).

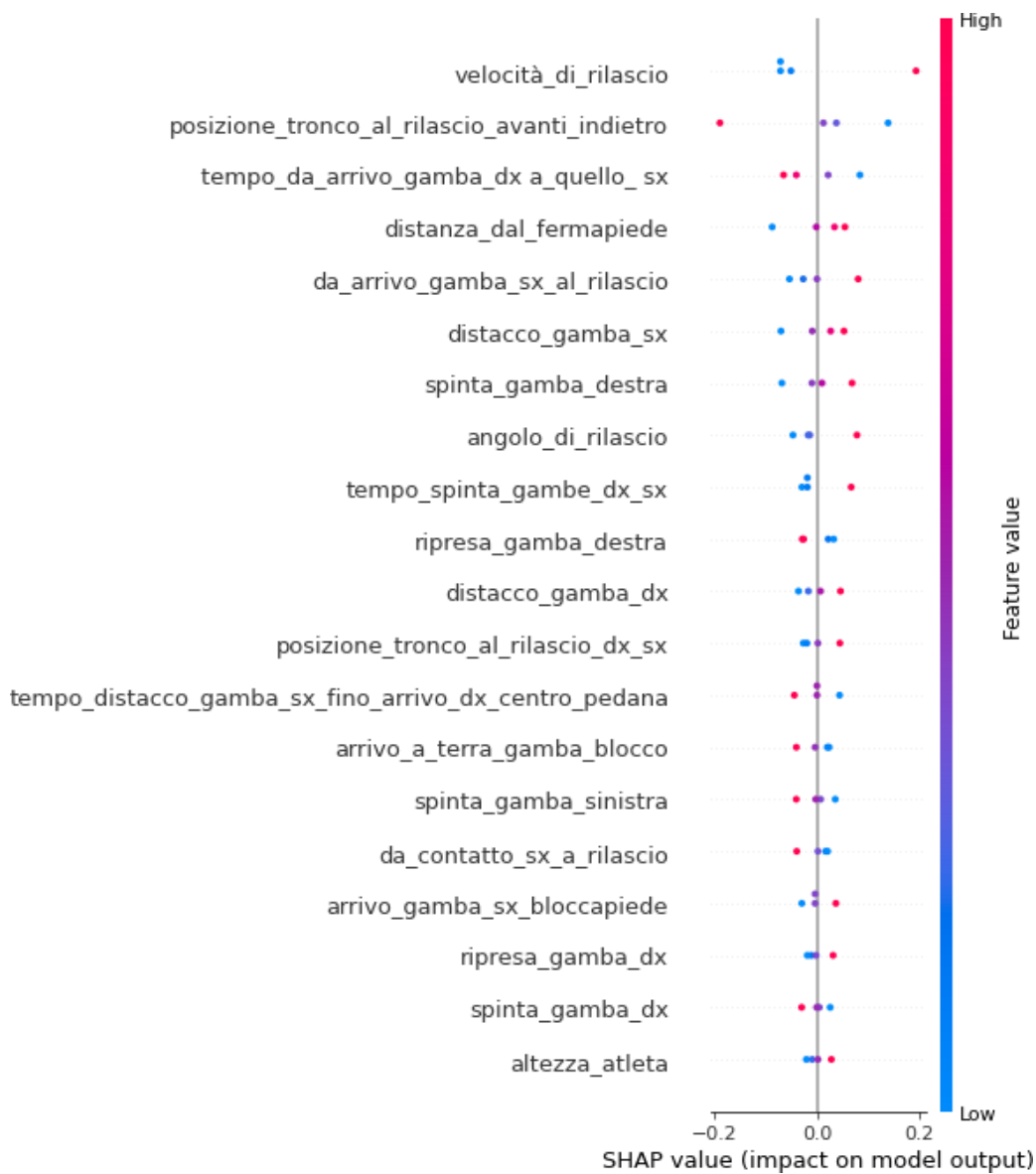


Grafico 2: correlazioni tra variabili e impatto sul risultato

Prendendo in esame un'altra variabile, ad esempio l'altezza dell'atleta, si noti come alti valori influiscano positivamente, bassi valori influiscano negativamente ma in forma lieve. In sostanza, l'altezza dell'atleta non ha una grande influenza sul lancio, soprattutto per quanto riguarda il set di atleti presi in esame, aventi tutti altezze molto simili tra loro.

Per maggiore chiarezza si allegano anche i grafici 3 4 5 e 6, che riportano le stesse informazioni del grafico 2 ma sotto diverso formato.

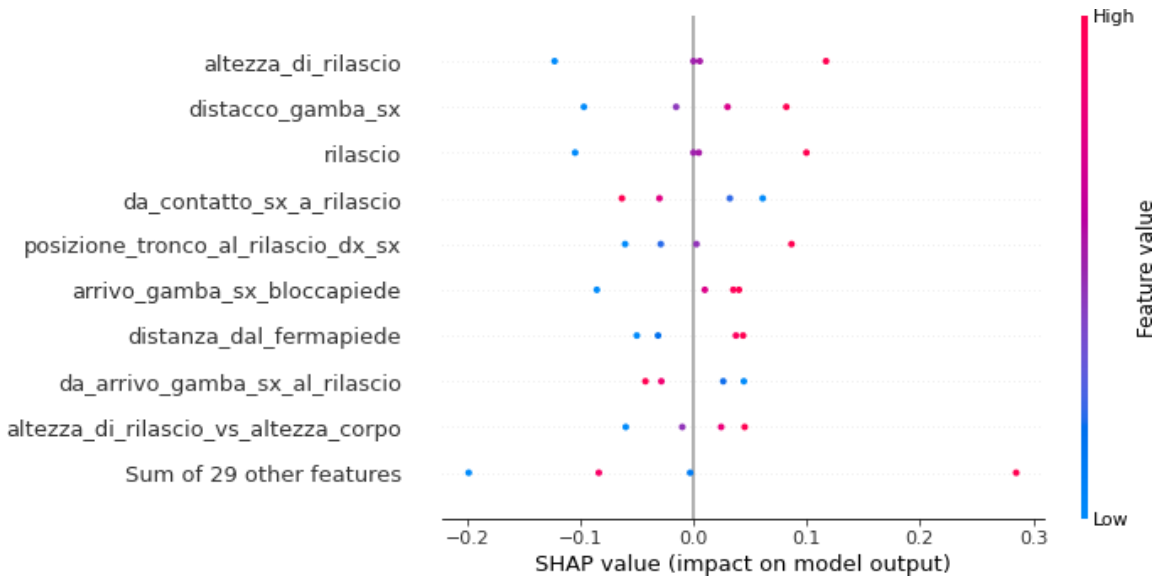


Grafico 3: Correlazione tra variabili e impatto sul risultato

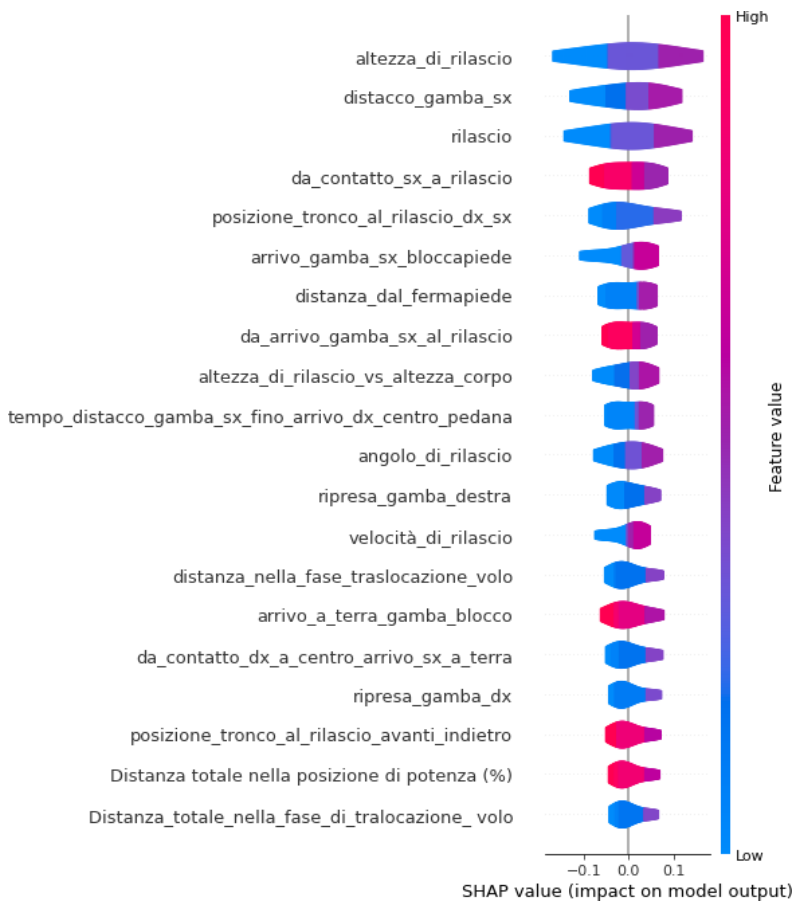


Grafico 4: Correlazione tra variabili e impatto sul risultato

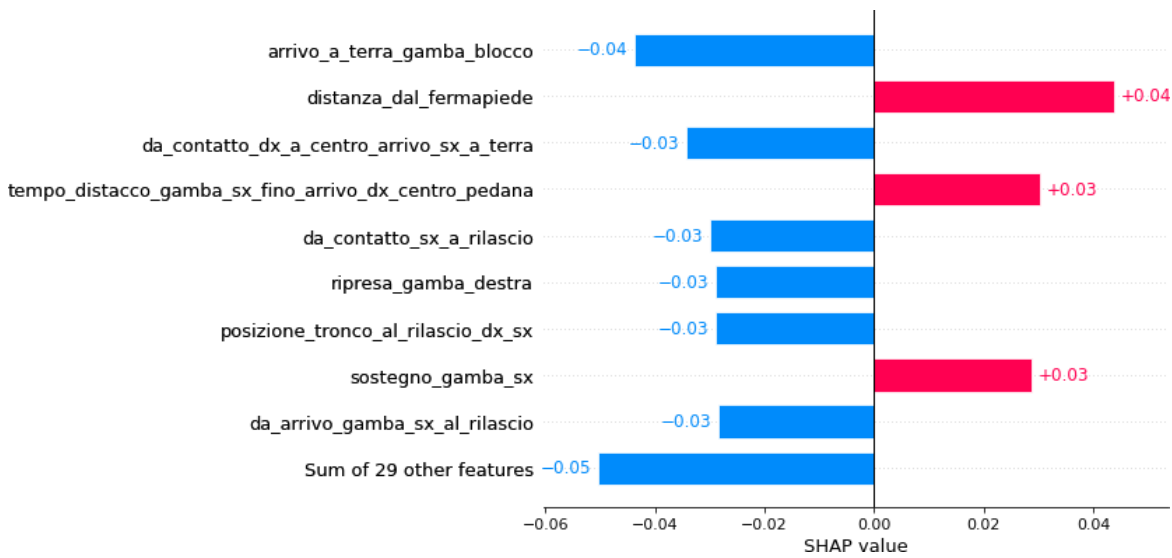


Grafico 5: Correlazione tra variabili e impatto sul risultato

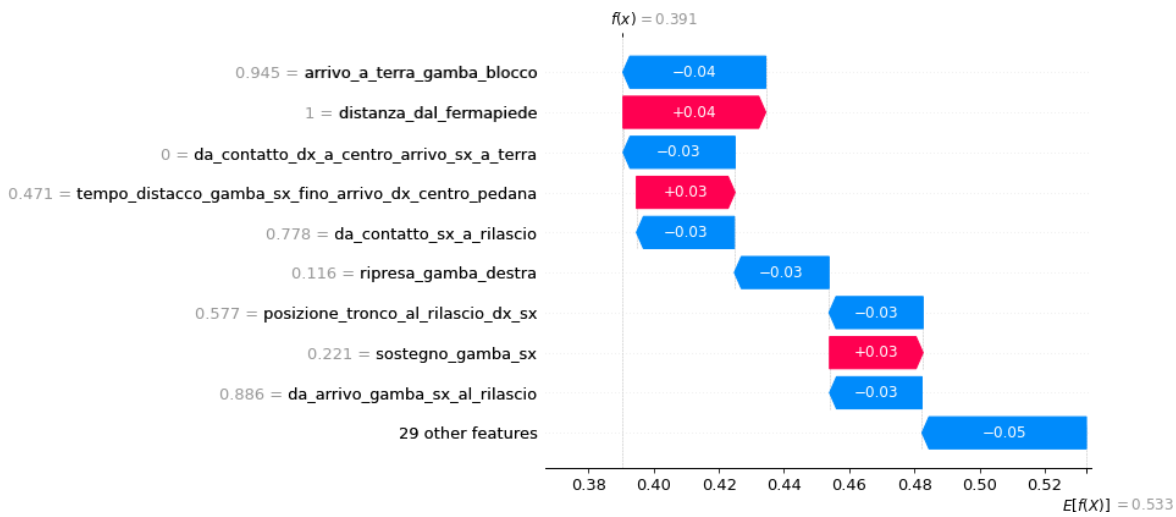


Grafico 6: Correlazione tra variabili e impatto sul risultato

In definitiva, nel grafico 7, si dà un riassunto di quanto già detto, ovvero che il maggior impatto sul raggiungimento di un buon risultato ha come maggior contributo quello della velocità di rilascio, seguito poi dalle altre variabili citate.

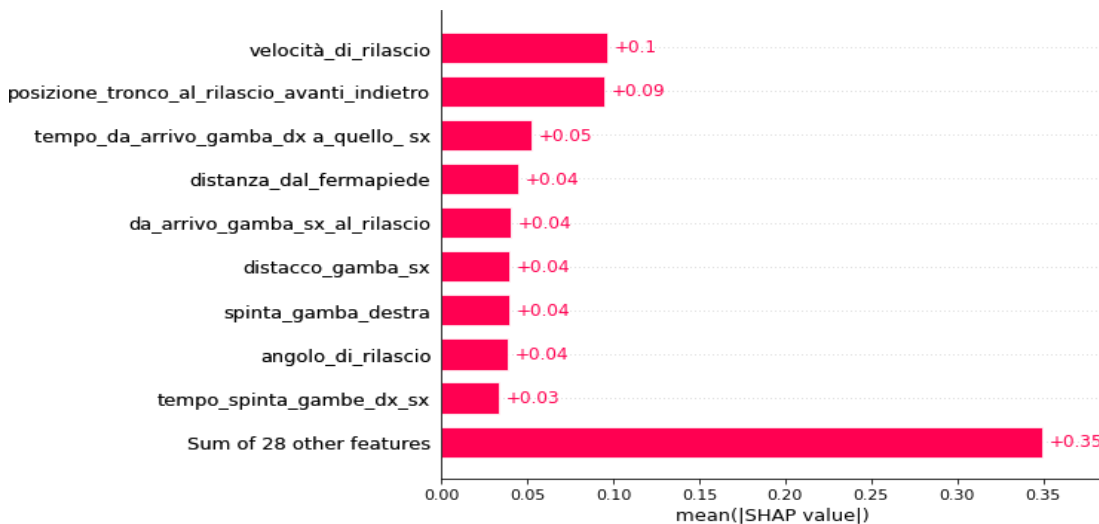


Grafico 7: impatto delle variabili sul risultato

In conclusione, dallo studio di questi parametri si evince come le variabili possano essere correlate tra loro e come ci siano elementi che concorrono più alla buona riuscita del lancio rispetto ad altri. Queste correlazioni risultano particolarmente utili quando si vuole programmare un allenamento ad elevato valore tecnico, poiché sarà più semplice allenare variabili tra loro altamente correlate. E' importante sottolineare come, per quanto riguarda la stesura di un programma di allenamento, sia importante stabilire su quali variabili concentrarsi maggiormente. Se una variabile influisce poco sul risultato finale (concentrazione di punti lungo l'asse centrale, sostanzialmente a cavallo dello zero), allenare quella specifica non avrà quasi influenza sul risultato.

## Calcoli

Di seguito i calcoli effettuati per la definizione dei grafici e i grafici sopra riportati.

In [13]:

```

1 import pandas as pd
2 import numpy as np # Data manipulation
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import seaborn as sns
5 from sklearn.datasets import make_classification
6 from sklearn.feature_selection import SelectKBest
7 from sklearn.feature_selection import f_classif
8 from sklearn.linear_model import LinearRegression
9 from matplotlib import pyplot
10 import statsmodels.api as sm
11 from scipy.special import softmax
12 import shap
13 import pandas as pd
14 from sklearn.datasets import fetch_california_housing
15 from sklearn.model_selection import train_test_split
16 from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor

```

In [14]:

```

1 df=pd.read_csv("peso_1.csv", sep=";")
2 pd.set_option('display.max_columns', None)
3 df = df.set_index("atleta")
4 df = df.drop("rilascio", axis=1)

```

In [7]:

```

1 sns.pairplot(df)
2 plt.show()

```

```

86         if self._tight_layout_pad is not None:
kwargs.setdefault("pad", self._tight_layout_pad)
--> 88 self._figure.tight_layout(*args, **kwargs)
89
90     def add_legend(self, legend_data=None, title=None, label_order
=None,

```

```

C:\ProgramData\Anaconda3\lib\site-packages\matplotlib\cbook\deprecation.py
in wrapper(*args, **kwargs)

```

```

f"% (removal)s. If any parameter follows {name!r}, they "
f"should be pass as keyword, not positionally."

```

```

--> 358         return func(*args, **kwargs)

```

```

359
360     return wrapper

```

```

C:\ProgramData\Anaconda3\lib\site-packages\matplotlib\figure.py in tight_layout(self, renderer, pad, h_pad,
w_pad, rect)

```

2492

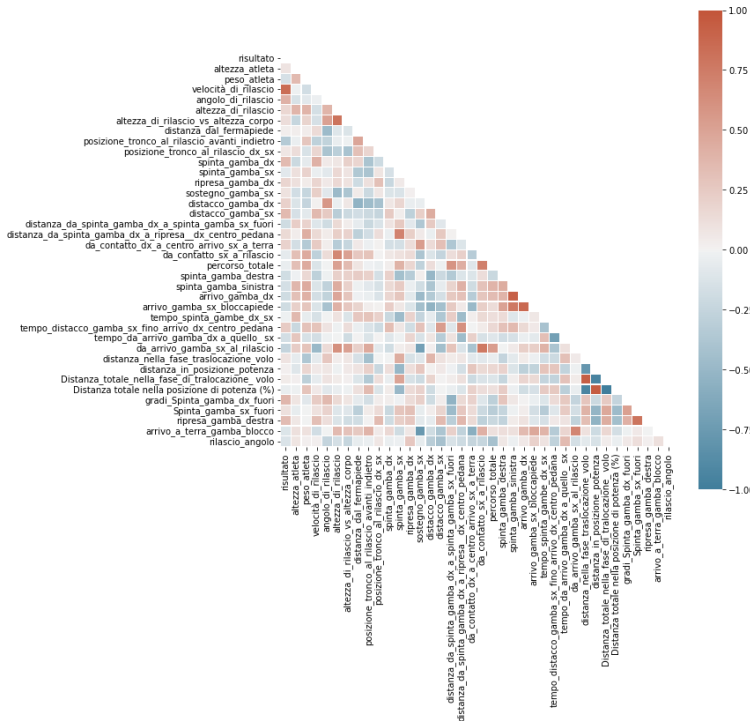
else suppress())

2493

with ctx:

In [15]:

```
1 # Compute the correlation matrix
2 corr = df.corr()
3
```

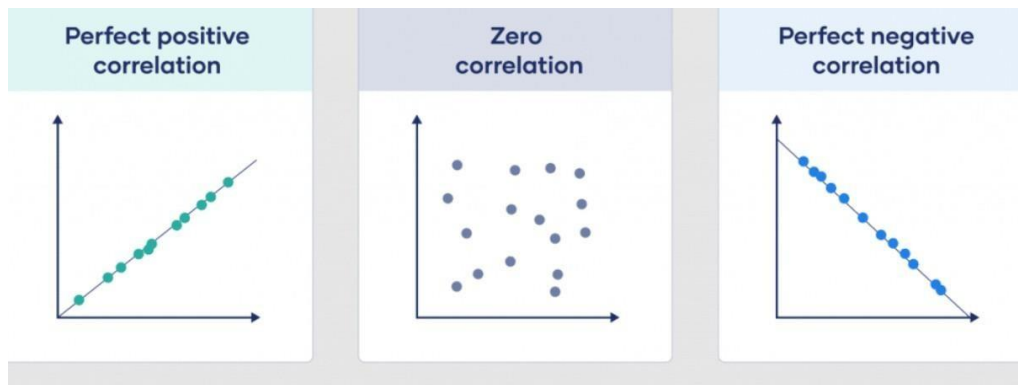


```
4 # Generate a mask for the upper triangle
5 mask = np.triu(np.ones_like(corr, dtype=bool))
6
7 # Set up the matplotlib figure
8 f, ax = plt.subplots(figsize=(10, 10))
9
10 # Generate a custom diverging colormap
11 cmap = sns.diverging_palette(230, 20, as_cmap=True)
12
13 # Draw the heatmap with the mask and correct aspect ratio
14 sns.heatmap(corr, mask=mask, cmap=cmap, vmax=1, center=0,
15             square=True, linewidths=.2)
```

Out[15]:

<matplotlib.axes.\_subplots.AxesSubplot at 0x21373014370>





In [16]:

```
1 df=(df-df.min())/(df.max()-df.min())
2
```

In [17]:

```
1 # generate dataset
2 y = df[[df.columns[0]].values
3 X = df[df.columns[1:]]
```

In [18]:

```
1 model = LinearRegression()
2 # fit the model
3 model.fit(X, y)
4 # get importance
5 importance = model.coef_
6 importance = importance[0]
7 names=df.columns
8 # summarize feature importance
9 d = {}
10 for i,v in enumerate(importance):
11     d[names[i]] = v
12 d = {k: v for k, v in sorted(d.items(), key=lambda item: item[1])}
13 #d = {k: v for k, v in sorted(d.items(), key=lambda item: item[1])}
14
15
16 data_x = d.keys()
17 data_high = d.values()
18
19 data_high_normalized = [x / max(data_high) for x in data_high]
20
21 fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 5))
22
23 my_cmap = plt.cm.get_cmap('RdYlGn')
```

```

24 colors = my_cmap(data_hight_normalized)
25 sm = ScalarMappable(cmap=my_cmap, norm=plt.Normalize(min(data_hight),max(data_hight)))
26 cbar = plt.colorbar(sm)
27 rects = ax.bar(data_x, data_hight, color=colors)
28 plt.xticks(rotation="vertical")
29
30 plt.show()

```

**NameError**

Traceback (most recent call last)

```

<ipython-input-18-d7478001dbee> in <module>
    23 my_cmap = plt.cm.get_cmap('RdYlGn')
    24 colors = my_cmap(data_hight_normalized)
--> 25 sm = ScalarMappable(cmap=my_cmap, norm=plt.Normalize(min(data_hight)
, max(data_hight)))
    26 cbar = plt.colorbar(sm)
    27 rects = ax.bar(data_x, data_hight, color=colors)NameError:

```

name 'ScalarMappable' is not defined

10

In [19]:

```

1 names=df.columns[1:]
2 y.reshape(1,-1)[0]
3 X_train,X_test,y_train,y_test = train_test_split(X, y.reshape(1,-1)[0], test_size =
4 model = LinearRegression()
5 model.fit(X_train,y_train)
6 regr = model.fit(X_train,y_train)
7 print(regr.score(X_test,y_test))
8

```

-1.0913833351078512

In [20]:

```

1 lm = LinearRegression()
2 scores = cross_val_score(lm, X_train, y_train, scoring='r2', cv=5)
3 Scores

```

**NameError**

Traceback (most recent call last)

```

<ipython-input-20-6d75b2a942e8> in <module>
    1 lm = LinearRegression()
----> 2 scores = cross_val_score(lm, X_train, y_train, scoring='r2', cv=5)
    3 scores

```

**NameError:** name 'cross\_val\_score' is not defined

In [21]:

```

1 # Fits the explainer
2 #explainer = shap.LinearExplainer(model.predict, X_test)
3 # Calculates the SHAP values - It takes some time
4 #shap_values = explainer(X_test)
5
6 explainer = shap.LinearExplainer(model, X_test)
7 shap_values = explainer(X_test)

```

In [22]:

```

1
2
3 def
4 print_feature_importances_shap_values(shap_val
5 ues, features):'''
6 Prints the feature importances based on SHAP values in an ordered
7 way shap_values -> The SHAP values calculated from a shap.Explainer
8 object
9 features -> The name of the features, on the order presented to the
10 explainer'''
11 # Calculates the feature importance (mean absolute shap value) for each
12 feature
13 importances = []
14 for i in range(shap_values.values.shape[1]):
15     importances.append(np.mean(np.abs(shap_values.values[:, i])))
16 # Calculates the normalized version
17 importances_norm = softmax(importances)
18 # Organize the importances and columns in a dictionary
19 feature_importances = {fea: imp for imp, fea in zip(importances, features)}
20 feature_importances_norm = {fea: imp for imp, fea in
21 zip(importances_norm, feature
22 # Sorts the dictionary
23 feature_importances = {k: v for k, v in sorted(feature_importances.items(),
key=la feature_importances_norm= {k: v for k, v in
sorted(feature_importances_norm.items(# Prints the feature importances
for k, v in feature_importances.items():
print(f"{k} -> {v:.4f} (softmax =
{feature_importances_norm[k]:.4f}")
print_feature_importances_shap_values(shap_values, names)

```

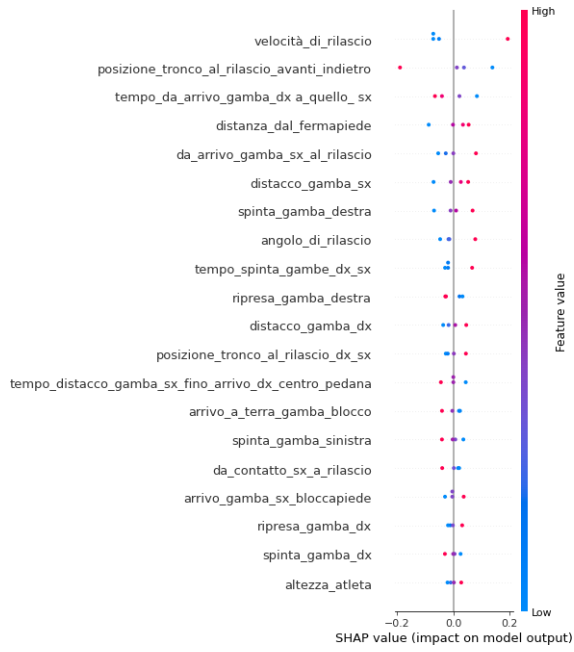
velocità\_di\_rilascio -> 0.0964 (softmax = 0.0291)  
posizione\_tronco\_al\_rilascio\_avanti\_indietro -> 0.0944 (softmax = 0.0290)  
tempo\_da\_arrivo\_gamba\_dx\_a\_quello\_sx -> 0.0526 (softmax = 0.0279)  
distanza\_dal\_fermapiede -> 0.0442 (softmax = 0.0276)  
da\_arrivo\_gamba\_sx\_al\_rilascio -> 0.0401 (softmax = 0.0275)  
distacco\_gamba\_sx -> 0.0396 (softmax = 0.0275)  
spinta\_gamba\_destra -> 0.0390 (softmax = 0.0275)  
angolo\_di\_rilascio -> 0.0389 (softmax = 0.0275)  
tempo\_spinta\_gambe\_dx\_sx -> 0.0333 (softmax = 0.0273)  
ripresa\_gamba\_destra -> 0.0272 (softmax = 0.0272)  
distacco\_gamba\_dx -> 0.0263 (softmax = 0.0271)  
posizione\_tronco\_al\_rilascio\_dx\_sx -> 0.0232 (softmax = 0.0270)  
tempo\_distacco\_gamba\_sx\_fino\_arrivo\_dx\_centro\_pedana -> 0.0220 (softmax = 0.0270)  
arrivo\_a\_terra\_gamba\_blocco -> 0.0219 (softmax = 0.0270)  
spinta\_gamba\_sinistra -> 0.0213 (softmax = 0.0270)  
da\_contatto\_sx\_a\_rilascio -> 0.0197 (softmax = 0.0269)  
arrivo\_gamba\_sx\_bloccapiede -> 0.0184 (softmax = 0.0269)  
ripresa\_gamba\_dx -> 0.0157 (softmax = 0.0268)  
spinta\_gamba\_dx -> 0.0152 (softmax = 0.0268)  
altezza\_atleta -> 0.0150 (softmax = 0.0268)  
peso\_atleta -> 0.0131 (softmax = 0.0268)  
rilascio\_angolo -> 0.0124 (softmax = 0.0268)  
altezza\_di\_rilascio\_vs\_altezza\_corpo -> 0.0119 (softmax = 0.0267)  
sostegno\_gamba\_sx -> 0.0112 (softmax = 0.0267)  
arrivo\_gamba\_dx -> 0.0111 (softmax = 0.0267)  
percorso\_totale -> 0.0098 (softmax = 0.0267)  
Spinta\_gamba\_sx\_fuori -> 0.0086 (softmax = 0.0266)  
da\_contatto\_dx\_a\_centro\_arrivo\_sx\_a\_terra -> 0.0082 (softmax = 0.0266)  
gradi\_Spinta\_gamba\_dx\_fuori -> 0.0063 (softmax = 0.0266)  
distanza\_in\_posizione\_potenza -> 0.0059 (softmax = 0.0266)  
distanza\_da\_spinta\_gamba\_dx\_a\_ripresa\_dx\_centro\_pedana -> 0.0055 (softmax = 0.0266)  
distanza\_nella\_fase\_traslocazione\_volo -> 0.0052 (softmax = 0.0266)  
spinta\_gamba\_sx -> 0.0048 (softmax = 0.0266)  
distanza\_da\_spinta\_gamba\_dx\_a\_spinta\_gamba\_sx\_fuori -> 0.0031 (softmax = 0.0265)  
Distanza\_totale\_nella\_posizione\_di\_potenza\_(%) -> 0.0029 (softmax = 0.0265)  
altezza\_di\_rilascio -> 0.0023 (softmax = 0.0265)  
Distanza\_totale\_nella\_fase\_di\_tralocazione\_volo -> 0.0015 (softmax = 0.0265)

In [23]:

```
1 shap.plots.bar(shap_values)
2
```

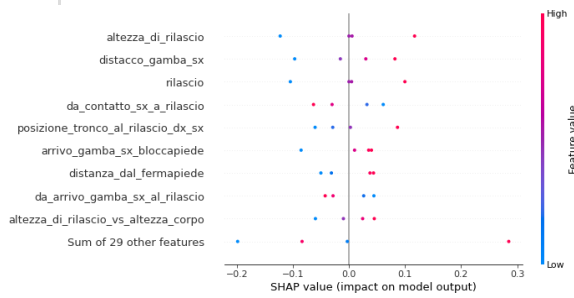
In [24]:

```
1 shap.summary_plot(shap_values)
```



In [352]:

```
1 shap.plots.beeswarm(shap_values)
```

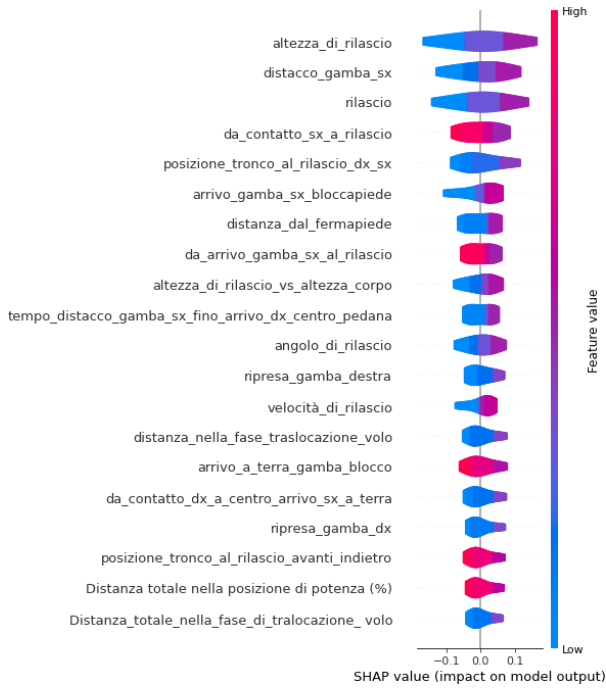


In [353]:

```

1 shap.summary_plot(shap_values, plot_type='violin')
2

```

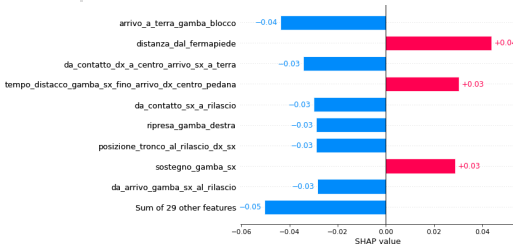


In [354]:

```

1 shap.plots.bar(shap_values[0])
2

```

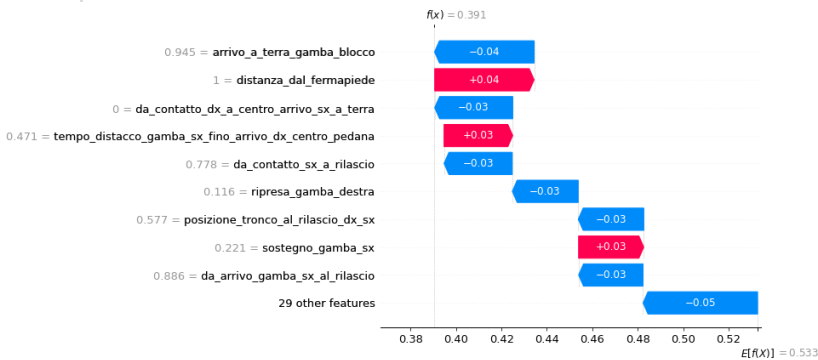


In [355]:

```

1 shap.plots.waterfall(shap_values[0])
2

```



In [ ]:

```

1

```

## Bibliografia di riferimento

- BIOMECHANICAL REPORT FOR THE WORLD INDOOR CHAMPIONSHIPS 2018 Shot Put  
Men Birmingham uk
- BIOMECHANICAL REPORT FOR THE WORLD CHAMPIONSHIPS 2017 Shot Put  
Men's London uk  
  
Dr Alex Dinsdale, Aaron Thomas and Dr Athanassios Bissas Carnegie School of Sport  
Stéphane Merlini IAAF Project Leader
- ROTATION SHOT PUT  
  
Ian Pyka, C.S.C.S. Head Strength and Conditioning Coach Tulane University New  
Orleans, Louisian  
  
Bob Otrando Assistant Track Coach University of Washington Seattle,
- ANALISI CINEMATICHE DEL GETTO DEL PESO IN ROTAZIONE  
  
Di Piga Nicola

## Ringraziamenti

I ringraziamenti vanno prima di tutto ai docenti e coadiuvanti  
della Scuola Dello Sport in particolar modo  
al Prof.re Claudio Mantovani e Dott.sa Michela Di Gloria.  
Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza l'aiuto dei miei 3 atleti:  
Dott.sa Pintus Elisa Francesca , che mi ha supportato e sopportato,  
quasi quanto io ad allenarla .  
Ing. Robotico Ivano Asceddu , il mio genio della fisica e della biomeccanica.  
Luca Simonetti , laureato in America in statistica  
ora Global Date Science Menager ,Global Business Analycs  
di una multinazionale a Chicago ,  
Un vero mago della statistica .  
Infine devo ringraziare per i tuoi preziosi consigli  
e per avermi dedicato il tuo tempo  
un amico,  
un vero uomo di sport  
oltre ad essere uno dei migliori tecnici del getto del peso  
al mondo.  
TS Paolo Dal Soglio  
i miei ringraziamenti finiscono qui e non ho nessun altro da menzionare

Grazie NICOLA PIGA