



Isef Roma
Istituto Universitario
di Scienze Motorie
Laboratorio di
Biomeccanica



Analisi biomeccanica dei toe-loop

di Claudio Giorgi
e Sara Turchetti
Riprese di Francesco Marchesini



Presentazione

- **Obiettivo dello studio**
- **Metodologia**
- **Descrizione qualitativa**
- **Analisi di elementi tecnici**
- **Elementi di biomeccanica**
- **Conclusioni**



Obiettivo dello studio

- analisi biomeccanica del gesto compiuto da tre giovani atleti di alto livello internazionale
- descrizione della tecnica
- comparazione tra le esecuzioni da 2 e 3 giri
- comparazione con i toe-loop a 3 e 4 giri del ghiaccio.

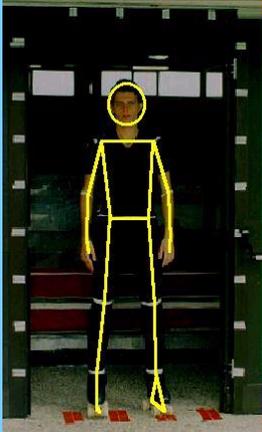


Metodologia

- Analisi cinematografica effettuata con 2 telecamere a Spinea in occasione di un raduno della Nazionale (settembre 1998).
- Elaborazione dei dati effettuata con un software apposito presso il Laboratorio di Biomeccanica.
- Elaborazione dei dati di tempo effettuata per lettura diretta dalle riprese disponibili (per il ghiaccio)





Modello standard a 19 punti



Stima degli errori dei modelli (in cm)

	doppi	tripli
D'Alisera	4,4	4,7
Lallai	7,0	4,8
Mazzoni	4,0	4,4



Descrizione qualitativa del gesto :

- Preparazione
- Puntata
- Stacco
- Fase aerea
- Atterraggio - ammortizzamento
- Uscita



Preparazione (1)

In questa fase l'atleta costruisce le condizioni di posizione e velocità necessarie alla riuscita dell'esercizio. La descrizione viene presentata nell'ipotesi di un saltatore destro; un saltatore mancino eseguirà l'esercizio scambiando le parti destra e sinistra.



Preparazione (2)

Dalla pattinata avanti si esegue un tre sul pattino destro che preme il filo esterno indietro; simultaneamente, la gamba sinistra si porta prima avanti e poi indietro per la puntata. Il busto durante il tre subisce una controtorsione.



Preparazione (3)

Le **braccia** sono pochissimo flesse e parallele al suolo; il destro inizia in posizione laterale per arrivare indietro, mentre il sinistro si trova avanti. Entrambe le braccia si abbassano, arrivando con le mani pressappoco all'altezza dei fianchi all'istante della puntata.



Puntata (1)

Viene seguita con **l'arto sinistro** leggermente piegato (angolo al ginocchio sn da 42° a 50°), extraruotato e incrociato rispetto alla traiettoria che si sta percorrendo. **L'arto destro**, portante, raggiunge il massimo piegamento (58° - 77°).



Puntata (2)

Per quanto breve, questa fase non è di durata nulla (il contatto a terra del piede sinistro dura circa 0.08 - 0.12 secondi).

In questa fase avviene la trasformazione di parte della velocità orizzontale in verticale.



Puntata (3)

Poco prima della puntata il **busto** ha raggiunto il suo massimo piegamento. La distensione della coscia dx è già in corso.

Le **braccia** sono al punto più basso della loro traiettoria.

I **fianchi** sono in anticipo di rotazione di circa $\frac{1}{4}$ di giro, per tutti i salti considerati.



Stacco (1)

Lo stacco avviene in due tempi: prima si allontana da terra il piede destro e poi il sinistro. Al momento dello stacco la **gamba destra** è ancora leggermente piegata, mentre quella **sinistra** raggiunge rapidamente la massima distensione, aprendo al massimo tutti gli angoli (alla caviglia, al ginocchio e all'anca).



Stacco (2)

Le **braccia**, con un cambio repentino di velocità, vengono proiettate in alto, simultaneamente alla distensione della gamba sinistra.

Le **spalle** entrano per prime in rotazione, portandosi in anticipo sui **fianchi**; questi ultimi allo stacco hanno già compiuto circa $\frac{1}{2}$ giro.

Il **busto** torna sull'asse verticale.



Fase aerea (1)

Questa fase dura dall'ultimo istante di contatto del piede sn fino all'atterraggio del dx. Nel corso della **prima rotazione** l'atleta raggiunge la posizione di massima raccolta: la gamba sn si incrocia con la destra pressappoco all'altezza della caviglia; gli **arti superiori** si flettono a gomiti alti davanti al petto.

Il **busto** è verticale.



Fase aerea (2)

La chiusura degli **arti superiori** richiede circa un giro di tempo, in tutti i salti considerati. Nei **salti da due giri**, a differenza degli altri, non si arriva alla chiusura completa delle braccia.

In ogni caso, **il primo giro risulta più lento** del secondo (e del terzo nei quadrupli).



Fase aerea (3)

A causa dell'**anticipo allo stacco** (e di quello **all'atterraggio**, notato solo nei salti da 4 giri del ghiaccio), la fase aerea dura circa :

- 1 giro e 1/2 nei doppi
- 2 e 1/2 nei tripli
- 3 e 1/4 nei quadrupli



Atterraggio / Ammortizzamento (1)

Nel momento di contatto a terra, il **piede dx** ha completato la rotazione, mentre i **fianchi** possono essere ancora indietro di circa $\frac{1}{4}$ di giro; le **spalle** sono ancora più indietro. Entrambi si mettono in linea nella fase di ammortizzamento della **gamba destra**, che a terra si piega fino quasi ad angolo retto.



Atterraggio / Ammortizzamento (2)

Le **braccia** si aprono in avanti contemporaneamente alla **gamba sinistra**, che pure si distende in avanti per ridurre la velocità di rotazione sull'asse.



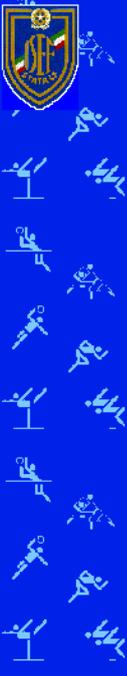
Uscita

Dalla posizione precedente, mentre la **gamba destra** rimane piegata premendo il filo esterno indietro, la **gamba sn** passa in posizione laterale-dietro e le **braccia** si distendono in fuori.



Analisi di elementi tecnici





angolo ginocchio sn allo stacco (gradi)

	doppi	tripli
D'Alisera	48	53
Lallai	61	51
Mazzoni	55	61




angolo ginocchio dx alla puntata (gradi)

	doppi	tripli
D'Alisera in distensione	58	63
Lallai max valore	73	77
Mazzoni max valore	71	77





angolo coscia dx / tronco alla puntata (gradi)



	doppi	tripli
D'Alisera	48	38
Lallai	44	50
Mazzoni	57	62

L'estensione della coscia
inizia prima della puntata



angolo congiungente testa - piede dx (gradi)

doppi	punt.	volo	atterr.
D'Alisera	81	88	82
Lallai	79	89	79
Mazzoni	84	86	79
tripli			
D'Alisera	79	89	84
Lallai	78	88	80
Mazzoni	82	86	79





angolo ginocchio sn all'atterraggio (gradi)

	doppi	tripli
D'Alisera	28	54
Lallai	38	70
Mazzoni	15	51



c'è moltissima differenza di comportamento tra i sei salti



eccentricità della puntata (cm)

	doppi	tripli
D'Alisera	35	35
Lallai	42	39
Mazzoni	10	13



Mazzoni accentua assai poco il filo interno ed ha la puntata meno eccentrica



Movimento del puntale

È un'informazione di difficile valutazione.

Appare praticamente fermo per Mazzoni, mentre per Lallai arriva a 5-6 cm. D'Alisera è intermedio.

Questa informazione è coerente con quella delle eccentricità



Rotazione del piede sn alla puntata

Anche questa informazione è di difficile valutazione.

La valutazione più probabile (Lallai) è di circa 45 gradi.

Per gli altri atleti non si riesce ad apprezzare



Posizione della vite (differenza altezza caviglie) (cm)

	doppi	tripli
D'Alisera	4	2
Lallai	17 ?	3
Mazzoni	3	2

Le viti dei doppi non sono chiuse.
In tutti i salti sono basse.
Il valore di Lallai nel doppio non è
credibile



Movimento delle braccia (1)

Sinistro: prima della puntata scende gradualmente all'altezza del fianco

Destro: prima della puntata rimane pressappoco all'altezza delle spalle. Quando il sn è già basso, scende rapidamente all'altezza del fianco e si lancia in rotazione.

Entrambe: restano distese. Dalla posizione in fuori, raggiungono il punto più basso a circa 30 cm dal tronco



Movimento delle braccia (2)

Allo stacco sono già flesse, con le mani quasi a contatto e all'altezza dello sterno. I gomiti non sono livellati (sn più in alto).

Nel corso del primo giro gli avambracci si incrociano e i gomiti si portano a pari altezza.

Nell'ultimo giro le braccia si sciolgono e riprendono a distendersi per esterno - basso.

All'atterraggio sono di nuovo all'altezza dei fianchi



Lunghezza del salto (m)

	doppi	tripli
D'Alisera	2,76	2,70
Lallai	2,03	2,41
Mazzoni	2,00	2,20

È determinata dal prodotto tra la velocità orizzontale di traslazione in volo e il tempo di volo



Velocità orizzontale (m/s)

doppi	prep.	volo	atterr.	diff.
D'Alisera	5,9	4,6	1,3	
Lallai	4,8	3,5	1,3	
Mazzoni	5,3	3,7	1,6	
tripli				
D'Alisera	5,9	4,5	1,4	
Lallai	5,0	4,0	1,0	
Mazzoni	5,5	3,8	1,7	



Elementi di biomeccanica del toe-loop





L'esercizio comporta l'abbinamento di due elementi essenziali: la 'costruzione' di una sufficiente **velocità di stacco** da terra (per poter stare in aria il tempo necessario) e di una sufficiente **velocità di rotazione** e del relativo controllo (per realizzare l'obiettivo dei 2, 3 o 4 giri)



Durante la **preparazione** viene gradualmente accumulata la **velocità di rotazione**, a braccia aperte, e preparata quella **verticale**, grazie al piegamento dell'arto portante e all'abbassamento delle braccia.

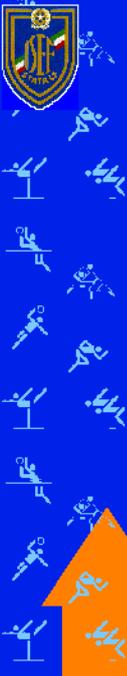


Durante la **puntata** viene trasformata parte della velocità orizzontale in **verticale** e viene incrementata la velocità di **rotazione** grazie all'eccentricità del contatto a terra



Nel primo giro della **fase aerea** la velocità di **rotazione** viene ancora incrementata per effetto della chiusura degli arti.





L'effetto della velocità verticale è quello di generare una fase aerea la cui durata dipende SOLO dalla velocità verticale stessa.

Confronto tra i salti

		Tempo di volo (s)	altezza (m)
Doppio	D'Alisera (salto 7)	0,60	0,44
	Lallai (salto 10)	0,52	0,33
	Mazzoni (salto 9)	0,54	0,35
Tripla	D'Alisera (salto 25)	0,60	0,44
	Lallai (salto 28)	0,56	0,38
	Mazzoni (salto 27)	0,58	0,41
	D'Alisera (salti 30 e 31, nok)	0,66	0,53
	Stojko (96, in catena)	0,56	0,38
Quadruplo	Barna (92)	0,72	0,63
	Stojko (96)	0,74	0,67
	Plushenko	0,70	0,60
	Kulik	0,76	0,70



Come si vede, **non c'è**
evidente differenza
tra i doppi e i tripli,
tutti compiuti con tempi
e altezze paragonabili



D'Alisera :
stessa altezza tra
doppio e triplo.
Alcuni salti non
giudicabili da tre giri
sono stati **sensibilmente**
più alti (sulla strada del
quadruplo?)



Lallai / Mazzoni :
circa 5 cm in più da
doppio a triplo.



I **quadrupli**, invece,
richiedono un tempo di
volo e un'altezza
sensibilmente più elevati.
Per arrivare a questo
livello di prestazione c'è
da valutare **COME** si può
incrementare la velocità
verticale.



- La **distensione della gamba di appoggio**, legata alla forza esplosiva, dura un tempo molto breve : da 0.10 s (D'Alisera) a 0.14 (Lallai/Mazzoni). Nel ghiaccio è ancora meno il tempo a disposizione (0.08-0.10 s). Supponendo, per semplicità, che l'atleta possa spingere con la sua massima forza, stimata nel doppio del peso corporeo, per tutto questo tempo, possiamo stimare che questa componente sia responsabile per il 30% della velocità verticale allo stacco

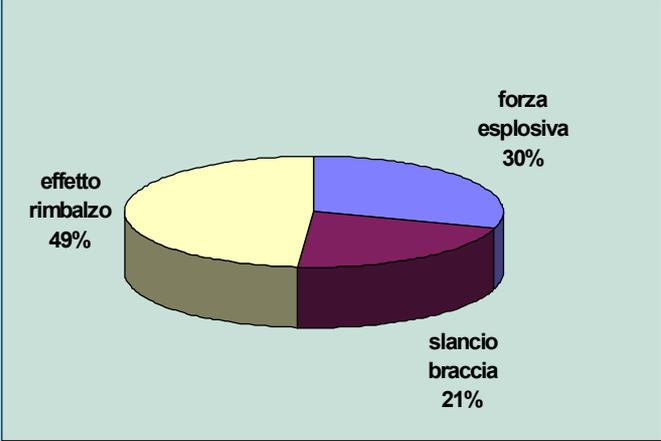


- Lo **slancio delle braccia** può essere efficace solo nel breve tempo che intercorre dalla posizione più bassa (istante della puntata) fino allo stacco. Questo tempo è di circa 0.08-0.12 s. La velocità accumulata dagli arti superiori viene trasmessa all'intero corpo, costituendo circa il 21% della velocità verticale.



- La parte preponderante viene compiuta **dall'effetto rimbalzo** della puntata. In questo gesto l'atleta rallenta bruscamente la sua velocità orizzontale, rallentando di circa 1.4 m/s. Il contributo alla velocità verticale risulta circa del 49%.

Confronto



Effetto	Contributo (%)
effetto rimbalzo	49%
forza esplosiva	30%
slancio braccia	21%



- Abbiamo notato una certa **differenza di tecnica** tra DL e gli atleti del ghiaccio da un lato e MM+LL dall'altro: la gamba sinistra **si piega pochissimo per DL** (pochi gradi, tempo di piegamento minore di 0.04 secondi) e **abbastanza di più per LL+MM** (8-10 gradi, tempo di piegamento fino a 0.08 secondi).



Costruzione della velocità di rotazione



Dobbiamo distinguere 4 fasi:

- **preparazione** (che avviene durante la preparazione del salto e si completa allo stacco)
- **accelerazione** (che avviene durante il primo giro della fase aerea)
- **fase stazionaria** (che avviene durante i restanti giri della fase aerea)
- **rallentamento** (che si distribuisce nell'atterraggio-rallentamento e nell'uscita)




Confronto tra i salti

	Atleta	Anticipo anche alla puntata	Anticipo anche allo stacco	Anticipo all'atterraggio	Tempo primo giro	Tempo secondo giro	Tempo terzo giro	Tempo di volo
	DL 7	1/4	1/2	-	0,34	-	-	0,60
Doppio	MM 9	1/4	1/2	-	0,30	-	-	0,54
	LL 10	1/4	1/2	-	0,28	-	-	0,52
	DL 25	1/4	1/2	-	0,26	0,22	-	0,60
Triplo	MM 27	1/4	1/2 -	-	0,24	0,22	-	0,58
	LL 28	1/4	1/2 -	-	0,22	0,20	-	0,56
	Barna	~ 1/4	1/2 -	1/2	0,22	0,22	0,20	0,72
Quadruplo	Stojko	1/4	1/2	1/4	0,28	0,22	0,18	0,74
	Plushenko	~ 1/4	1/2	1/4	0,22	0,18	0,18	0,70
	Kulik	~ 1/4	1/2	1/4	0,22	0,20	0,16	0,70





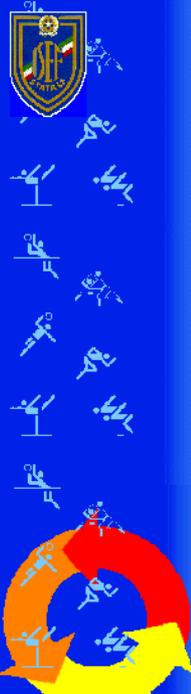
Elementi per la preparazione (1)

L'atleta acquisisce la velocità di rotazione grazie allo **slancio degli arti superiori** e all'**eccentricità della puntata**. La massima efficacia si ottiene curando la distensione delle braccia e il raggiungimento della max velocità di rotazione possibile prima della puntata.



Elementi per la preparazione (2)

Tuttavia, assai più efficace è la **puntata fatta in posizione eccentrica**. Gli atleti oggetto delle misure hanno incrociato la traiettoria di 10-40 cm. Non è stata possibile un'analoga valutazione per il ghiaccio.



Elementi per la preparazione (3)

La posizione eccentrica causa anche l'**anticipo di posizione delle anche**, che è risultato sostanzialmente identico in tutti i salti oggetto dello studio (1/4 di giro alla puntata, 1/2 giro allo stacco).



Elementi per l'accelerazione (1)

Una volta fuori dal contatto con il terreno, l'atleta incrementa la velocità di rotazione grazie alla chiusura delle braccia.



Elementi per l'accelerazione (2)

In questa descrizione dobbiamo considerare a parte i **salti da 2 giri**, per i quali, **non è necessario** ricercare la massima velocità di rotazione. Infatti, il tempo del primo giro (l'unico completo) dei doppi risulta apprezzabilmente più lento che nei tripli e quadrupli (0.28 - 0.34 s).



Elementi per l'accelerazione (3)

Abbiamo osservato che il **tempo del primo giro** in fase aerea è sostanzialmente lo stesso per tutti gli atleti per i salti a 3 o 4 giri (da 0.22 a 0.28 s), ed anche il **tempo del secondo giro** (e del **terzo** per il ghiaccio) è sostanzialmente lo stesso (0.16 - 0.22 s).



Elementi per l'accelerazione (4)

Queste informazioni ci fanno credere che tutto ciò che porta l'atleta alla massima velocità di rotazione sul proprio asse sia **fondamentalmente identico tra rotelle e ghiaccio.**



Elementi per l'accelerazione (5)

Per di più, considerando che all'atterraggio i quadrupli beneficiano di un anticipo di circa $\frac{1}{4}$ di giro, ne consegue che **l'ottenimento del 3° giro in volo** è possibile proprio grazie ad un **aumento del tempo di volo**, cioè grazie ad una **velocità verticale più alta.**



Conclusioni



La comparazione con il ghiaccio ci porta a dire che tutti i movimenti devono essere **ancora più rapidi** di quanto non siano già. Di conseguenza, l'efficacia della forza esplosiva dell'arto dx e della proiezione delle braccia dovrebbe scendere ancora più in basso di quanto non sia per i doppi e i tripli analizzati.



Bisogna cercare una **maggiore velocità orizzontale** prima del salto, così che la puntata ne possa convertire in verticale una maggiore quantità.



Questo dovrebbe avvenire cercando anche una **maggiore rigidità dell'arto che punta**: infatti, se è da escludere una sua completa distensione al momento della puntata, abbiamo osservato che il tempo di piegamento della gamba sinistra è praticamente nullo nei salti a quattro giri.



Da questo studio risulta che l'incremento della **forza esplosiva** degli atleti, pur se certamente utile come qualità generale, probabilmente **non è determinante** da solo ai fini dell'evoluzione del gesto.



L'incremento di velocità orizzontale, che invece sembra molto promettente, deve essere ottenuto affinando ancora di più gli **aspetti coordinativi** dell'intero salto. Infatti, studi sul ghiaccio dicono come, per loro, l'aspetto coordinativo sia diventato l'elemento controllante dell'esecuzione.



Abbiamo osservato che tra i nostri tripli e i quadrupli del ghiaccio sembra che **non ci siano differenze significative** riguardo alla velocità di rotazione. Ciò nonostante, sembra comunque possibile **incrementare** ancora questo fattore.



In particolare, si potrebbe:

- tentare una **puntata ancora più eccentrica**
- cercare una **raccolta degli arti superiori** ancora più veloce
- cercare una ancor **maggiore chiusura** delle braccia, magari abbassando i gomiti.

Ci rivediamo dopo il quadruplo...



The image shows a figure skater in a black and white outfit performing a quadruple jump. The skater is captured in mid-air, with one leg extended forward and the other bent, arms outstretched. The background is a blurred arena with spectators. The entire scene is set against a light blue gradient background.