

BIOMECCANICA DEL SALTO CON GLI SCI

(Paavo V. Komi, Richard C. Nelson, Matti Pulli)

PREFAZIONE

La presente ricerca è stata condotta congiuntamente dal Laboratorio di Cinesiologia dell'Università di Jyväskylä sotto la direzione del prof. Paavo V. Komi e dal Laboratorio dell'Università di Pennsylvania, sotto la direzione del prof. Richard Nelson. Essa rappresenta cinque anni di lavoro da parte degli Autori e di numerose altre persone che hanno dato il loro contributo nei diversi aspetti dello studio. Nei seguenti capitoli si descrivono le fasi successive che hanno portato alla pubblicazione del presente documento.

L'idea originaria di uno studio della biomeccanica degli atleti del salto con gli sci, di classe mondiale, è stata sviluppata all'Università di Pennsylvania nella primavera del 1968. Queste discussioni preliminari erano incentrate sulla necessità di riprendere delle pellicole ad alta velocità usando almeno tre cineprese per fotografare lo stacco e l'intera traiettoria del volo dei saltatori in condizioni agonistiche.

Il prof. Komi ha proposto i Giochi annuali di Salpausselkä che si svolgono a Lahti in Finlandia, per la ripresa di queste fotografie. Egli si è messo in contatto con l'Associazione finlandese di Sci e con il Lahti Ski Club illustrando lo studio che ci si proponeva di fare e richiedendo il loro appoggio. Entrambi i gruppi si sono dichiarati disposti a cooperare concedendo la loro approvazione ufficiale del progetto. Il prof. Komi allora si è messo in contatto con il sig. Matti Pulli, allenatore per il salto con gli sci di

Jyväskylä, per cercare il suo aiuto per essere messo in contatto con gli ufficiali del Lahti Ski Club.

Nell'estate del 1968 è stata organizzata una riunione fra Paavo Komi, Matti Pulli, Lasse Pirskanen e Pentti Heino a Lahti, durante la quale è stato discusso il programma della fase cinematografica del progetto durante i Giuochi di Salpausselkä del 1969. I funzionari di Lahti hanno consentito a fornire i locali e a dare l'ospitalità all'équipe di ricercatori e a preparare il necessario per il loro lavoro sul posto in cui si sarebbero effettuati i salti.

Al ritorno del prof. Komi in Pennsylvania nel settembre 1968, sono stati formulati i programmi più dettagliati. Il tema della ricerca era chiaramente definito in base alla letteratura su queste ricerche e alle discussioni preliminari fra il prof. Komi e i funzionari per lo sci in Finlandia.

E' stato definito lo schema dell'esperimento e il protocollo per la raccolta dei dati (riprese cinematografiche) e per l'analisi. Sono stati scelti i membri della équipe di ricercatori, comprendente Kenneth Petak: tecnico ricercatore, Charles Dillman: specialista di biomeccanica, entrambi dell'Università di Pennsylvania, il prof. Komi e il prof. Nelson. Al Rettore dell'Accademia di Educazione Fisica è stata fatta una richiesta di fondi per coprire le spese di viaggio e di altro genere. La richiesta è stata approvata nel novembre 1968, assicurando la possibilità per i ricercatori di essere a Lahti alla fine di febbraio 1969 per provvedere alle riprese cinematografiche.

Il gruppo di ricercatori è arrivato a Lahti lunedì 24 febbraio 1969 ed ha incominciato i preparativi per filmare le prove di salto con gli sci ai Giuochi di Salpausselkä la domenica seguente.

Per questi preparativi è stato necessario un largo aiuto da parte di Pentti Heino. Sono state costruite due impalcature e una terza piattaforma al livello del suolo, per sistemare convenientemente le cineprese. I preparativi sono stati ultimati in tempo, malgrado le notevoli difficoltà tecniche e i salti della gara sono stati ripresi con tre macchine.

La fase successiva del progetto prevedeva l'analisi delle pellicole e dei dati, che ha avuto inizio nel giugno 1969, nel Laboratorio di Biomeccanica all'Università di Pennsylvania. Le variabili specifiche da includere nell'analisi dello esperimento sono state scelte dopo discussioni prolungate.

Matti Pulli, che ha passato sei settimane alla suddetta Università, e Gene Kotlarek, istruttore nazionale statuniten-

se per il salto a quell'epoca, hanno fornito importanti considerazioni di ordine pratico, che sono state incorporate nell'analisi dei dati.

Il dr. Jiri Sukop, un illustre professore ospite, di Praga, ha ugualmente dato un contributo importante attraverso la traduzione della letteratura tedesca, russa e polacca.

Una volta ultimata la scelta delle variabili sperimentali, ha avuto inizio la fase dell'analisi della pellicola. Ci sono volute quattro settimane per estrarre dai film tutti i dati necessari e per prepararli per la elaborazione al calcolatore elettronico.

Questa elaborazione e i calcoli relativi sono stati effettuati durante la fine del 1969 e l'inizio del 1970. Non appena sono stati disponibili i dati definitivi, essi sono stati riportati in tabelle e grafici per l'interpretazione preliminare. Questi risultati sono stati presentati dal prof. Nelson al Comitato Scientifico Finlandese per il salto con gli sci, a Vierumäki, Finlandia, nel mese di settembre. Erano presenti Matti Pulli, Pentti Heino, Erkki Hovi, Niilo Halonen e il prof. Komi.

Questo gruppo di persone ha controllato i dati, li ha interpretati ed ha tentato di trarne delle conclusioni. Il giorno seguente i risultati sono stati illustrati a un gruppo scelto di istruttori di salto con gli sci, invitati al seminario a Vierumäki.

La fase comprendeva l'analisi dei dati e la relativa interpretazione si è protratta per diversi mesi dopo la riunione di Vierumäki. Nel luglio 1971 i ricercatori si sono incontrati a Jyväskylä per fare il punto del progetto e per discutere i piani per il suo completamento. Si è deciso di preparare dei grafici per illustrare lo stacco e l'intera traiettoria di volo.

Questi diagrammi sono stati completati da Kalevi Karmitsa prima del febbraio 1972, data di una nuova riunione degli Autori all'Università di Pennsylvania. Quest'ultima ha portato alla definizione dei particolari finali per la pubblicazione della relazione e a fissare il termine ultimo del settembre 1973 per la conclusione del manoscritto. Nell'agosto 1973 gli Autori si sono incontrati all'Università di Pennsylvania ed hanno ultimato il documento che presentiamo.

Jyväskylä, Finlandia

University Park, Pa. USA

Settembre 1973

Paavo V. Komi

Richard C. Nelson

1. INTRODUZIONE

Dal suo inizio nel 1860, il salto agonistico con gli sci si è sviluppato senza interruzioni ed è diventato uno sport realmente internazionale. La costituzione della Fédération Internationale de Ski (F.I.S.) nel 1924 ha fornito la base amministrativa necessaria per assicurare uno sviluppo efficace di questo sport. Da allora esso è entrato a far parte degli sport olimpici disputato nelle Olimpiadi Invernali ed i suoi Campionati del Mondo si svolgono regolarmente. Altre manifestazioni importanti di salto con gli sci si svolgono a Holmenkollen (Oslo, Norvegia) e a Lahti (Finlandia).

Lo sviluppo del salto con gli sci è legato a molte modifiche dell'attrezzatura e della tecnica. In certi casi la ricerca scientifica ha contribuito a questo sviluppo (p.e. Strumann, 1927). Comunque, la maggior parte dei progressi segnati dalla tecnica sono dovuti agli sforzi di atleti e di allenatori intelligenti.

Negli ultimi anni il livello agonistico è salito in ragione del grande numero di atleti e delle maggiori possibilità di preparare le nuove leve. Recentemente sono state condotte delle ulteriori ricerche sulla tecnica e molte nazioni hanno cercato di realizzare nella pratica i risultati di queste ricerche.

Fra i ricercatori che hanno dato un contributo significativo alle basi scientifiche del salto con gli sci ricordiamo Straumann (1955, 1957, 1964), Hochmuth (1953, 1954, 1958-59), Nagorny (1955), Grozin (1964), Kuznecov (1966) e Tani e Iuchi (1971).

La giovane scienza della biomeccanica offre un aiuto prezioso allo studio dei movimenti del corpo umano nello sport. La possibilità di avvalersi di cineprese ad alta velocità, di sistemi automatici per l'analisi delle pellicole, la tecnologia dei calcolatori hanno permesso di quantificare con esattezza gli aspetti biomeccanici del salto con gli sci.

Un'analisi di questo tipo può fornire dei dati importanti sullo stacco e sulle tecniche di volo degli atleti di classe mondiale. Questi risultati a loro volta possono essere utili per gli allenatori e per gli atleti.

Lo scopo che si proponeva questo vasto progetto di ricerca era quello di quantificare la biomeccanica dei salti con gli sci eseguiti in condizioni agonistiche da saltatori di grandi capacità.

Il presente documento comprende la descrizione della

metodologia applicata, i risultati, le discussioni e la interpretazione dei reperti nonché le loro implicazioni pratiche.

2. METODOLOGIA

La descrizione della metodologia è stata divisa in: la ripresa cinematografica, la scelta delle prove, le variabili sperimentali, l'analisi delle pellicole e l'analisi dei dati.

2.1. I metodi di ripresa cinematografica.

Ai fini dello studio intrapreso era della massima importanza avere delle riprese cinematografiche ad alta velocità eseguite in condizioni di gara piuttosto che durante l'allenamento.

In secondo luogo era essenziale comprendere nelle pellicole l'intero salto, dallo stacco fino all'arrivo. Il trampolino alto 70 m per i salti, di Lahti, (fig. 1) e gli atleti parte-

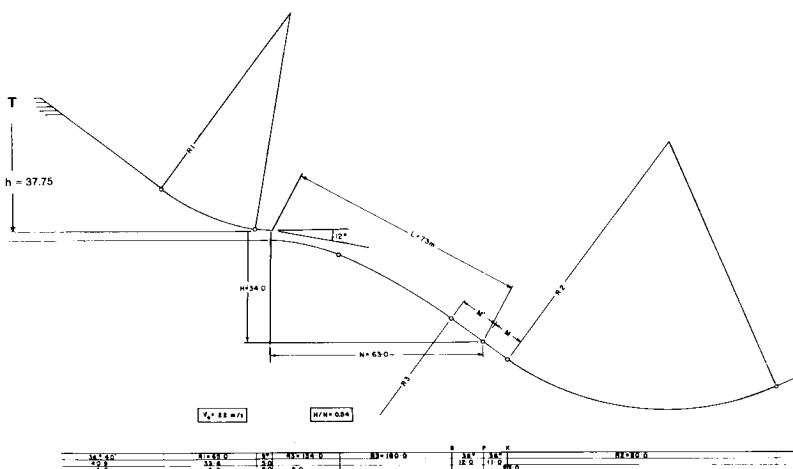


Fig. 1 - Diagramma raffigurante il profilo del trampolino da 70 metri di Lahti.

cipanti ai Giochi di Salpausselkä hanno offerto quanto era necessario per la fase della ricerca consistente nella ripresa cinematografica.

Si sono resi necessari degli accorgimenti particolari per dare alle tre cineprese l'ubicazione opportuna (fig. 2).

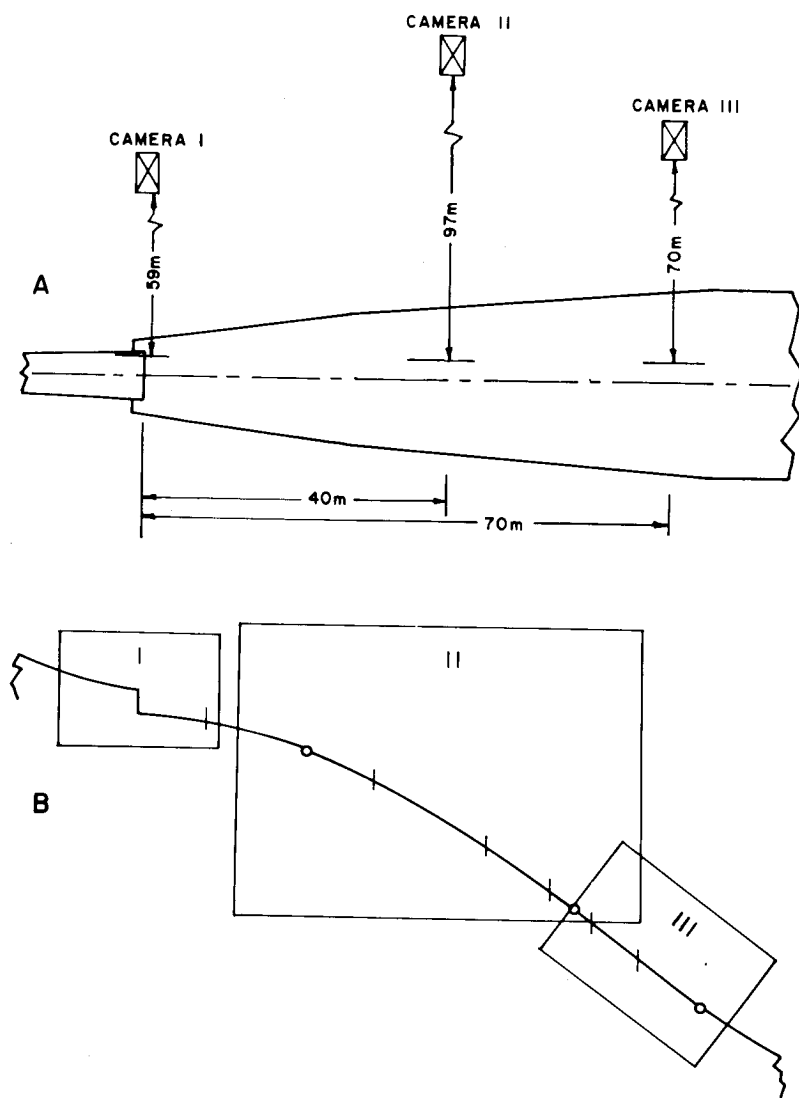


Fig. 2 - Veduta dall'alto del trampolino di Lahti con l'indicazione della posizione delle 3 camere da ripresa (A) e vista laterale coi loro approssimati campi fotografici.

Una torre alta circa 21 metri è stata posta a 59 metri dall'estremità della piattaforma. In questo modo la macchina da presa (modello LoCam) poteva essere puntata ad angolo retto con il percorso del movimento, con il centro della lente allineato a un punto immediatamente al di là del punto di stacco (fig. 3). Il campo della fotografia si estendeva dagli ultimi 7 metri dell'area di stacco ai primi 9 metri del volo. La camera, con una lente da un pollice, era messa a punto per 200 fotogrammi al secondo. In tutte e tre le macchine da presa è stata usata una pellicola Kodak Tri-X.

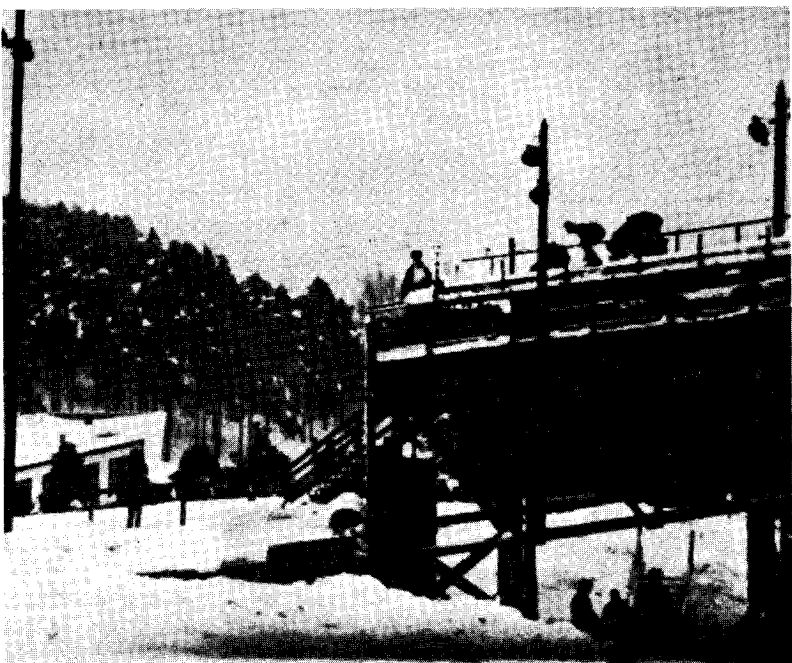


Fig. 3 - Campo della camera 1.

La seconda torre, alta 15 metri, si trovava a 97 metri su una linea che partiva dall'estremità più vicina della piattaforma. Il campo della Camera Pathé copriva la distanza che andava da 12 metri dall'estremità della piattaforma a un punto segnato a 55 metri. Questa camera aveva una lente di un pollice, ed era messa a punto per funzionare con 50 fotogrammi per secondo.

La terza macchina da presa era sistemata su una piattaforma al livello del suolo, a una distanza di circa 70 metri dall'estremità della piattaforma. Questa macchina da presa LoCam (fig. 4) era messa a punto per fare 100 fotogrammi per secondo e copriva un campo che andava (da circa 55 a 83 metri).

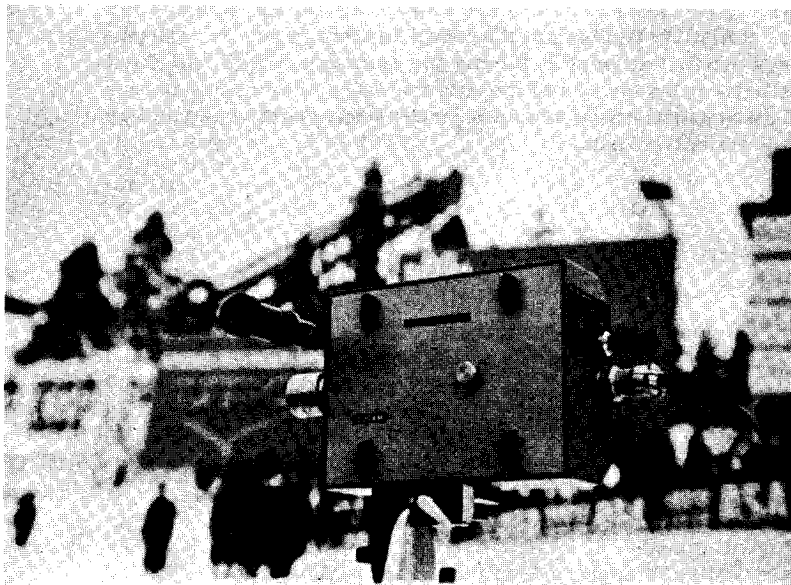


Fig. 4 - La « Lo Cam 16 mm. », camera usata nelle posizioni 1^a e 3^a.

La taratura delle velocità delle cineprese 1 e 3 si effettuava usando un segnalatore del tempo collocato nella parte inferiore dell'edificio per la Stampa e per le Informazioni. Dei fili collegavano questo impianto di cronometraggio con le due camere da presa. Un segnale che aveva la velocità di 100/sec serviva per portare i segnali luminosi nella parte interna delle macchine. Questi segnali lasciavano dei piccoli segni sul bordo della pellicola, che in un secondo tempo servivano per determinare la velocità effettiva del fotogramma. Questa velocità era di 172-203 fotogrammi per secondo nella prima macchina da presa e di 50-96 fotogrammi per secondo nella terza. Non è stato possibile definire esattamente la velocità operativa della seconda macchina da

presa (Pathé), per cui si è presunta una velocità di 50 fotogrammi per secondo. Dato che il voltaggio fornito alla macchina per il suo funzionamento era costante durante il periodo di funzionamento della macchina, era ragionevole pensare che anche la velocità dei fotogrammi si mantenesse sufficientemente costante.

Nel momento della ripresa cinematografica si era partiti dal presupposto che, combinando i campi delle tre macchine, si potesse successivamente ricostruire l'intero percorso del salto. I lampioni collocati lungo l'impianto e chiaramente identificabili nelle fotografie, hanno fornito la base per individuare con approssimazione il punto di sovrapposizione dei campi.

Questa sovrapposizione comunque non è stata soddisfacente, per cui è stato necessario modificare i dati per provvedere alla compatibilità e alla continuità durante l'intero salto.

Siccome questo era il primo tentativo di riprendere lo intero stacco e volo, gli Autori sono stati del parere che anche gli aspetti descrittivi di queste variabili sperimentali fossero di considerevole importanza.

2.2. La scelta delle prove per l'analisi.

Alla gara principale hanno partecipato cento atleti, che hanno effettuato due salti ciascuno. A causa del tempo che si perdeva per ricaricare le macchine da presa, non si sono potuti fotografare tutti e tre i salti con tutte e tre le macchine. Ad ogni modo sono stati ripresi completamente 83 salti, fra cui ne sono stati scelti 30 per l'analisi completa. Questi salti sono stati scelti prima del procedimento cinematografico, in base alla lunghezza del salto e alla nazionalità del saltatore, in modo da assicurare un ampio quadro delle capacità e della rappresentatività internazionale. I salti andavano da 63 a 81 metri, con una media di 74,3 m. L'altezza dei tre soggetti era di 165-185 cm, con una media di 174,7 cm. Il loro peso andava da 63 a 78 kg, con una media di 71,4 kg.

Undici nazioni erano rappresentate da almeno un atleta, mentre la rappresentanza della Finlandia, con 10 atleti era la più numerosa. Nella tabella n. 1 sono riportati i dati dei 30 soggetti. Per alcune variabili sono stati aggiunti dei dati di altri soggetti, allo scopo di avere una analisi più vasta.

Tavola 1^a - Dati descrittivi delle caratteristiche fisiche dei soggetti.

Lahti		Country	Place		Body Ht.(cm)Wt.(kg)	Ski Length(cm)			
No.	No. Name		Trial	in Meet			Jump Dist.(m)		
1	64 Kiehl	DDR	2	1	81.0	— — 250			
2	92 Belousov	U.S.S.R.	1	39	80.0	173 78 250			
3	87 Schmidt	DDR	2	48	79.5	— — 248			
4	63 Watt	U.S.A.	2	12	79.0	175 72 250			
5	101 Mattila	Finland	2	26	79.0	167 70 248			
6	77 Grini	Norway	1	50	78.0	180 78 255			
7	86 Kankkonen	Finland	2	2	78.0	174 78 250			
8	94 Queck	DDR	2	4	78.0	— — 245			
9	53 Käyhkö	Finland	1	18	77.5	181 76 250			
10	66 Laiho	Finland	1	6	77.5	176 68 250			
11	71 Reijonen	Finland	1	14	76.0	185 75 250			
12	69 Smirnov	U.S.S.R.	1	13	75.5	177 75 252			
13	74 Lundmark	U.S.A.	1	45	75.5	175 72 250			
14	91 Ekholm	Finland	2	9	75.0	181 77 250			
15	56 Bergström	Finland	2	21	74.5	165 73 245			
16	79 Ruotsalainen	Finland	1	16	74.5	172 63 250			
17	60 Tuppurainen	Finland	2	76	74.0	174 64 250			
18	46 Pohland	BRD	2	44	73.5	177 70 250			
19	62 Leivo	Finland	1	20	73.5	165 73 245			
20	65 Bjornebye	Norway	1	11	73.5	175 72 250			
21	78 Jennings	U.S.A.	1	31	73.5	177 66 250			
22	97 Laev	U.S.S.R.	2	34	73.0	175 68 248			
23	108 Daniel	Poland	1	28	72.5	168 68 248			
24	55 Keller	BRD	2	79	71.0	169 64 250			
25	104 Kucera	Czechoslovakia	1	56	70.5	185 75 250			
26	82 M. Geller	Hungary	1	53	70.0	170 68 250			
27	93 Eriksson	Sweden	1	57	69.0	170 70 250			
28	95 Damolin	Italy	1	67	68.5	180 71 250			
29	81 Schwabl	Italy	1	71	65.5	172 67 250			
30	96 Zelanakas	U.S.A.	1	82	63.0	180 77 250			
					\bar{X} =	74.3	174.7	71.4	249.5
					S.D.	4.3	5.5	4.6	2.0

2.3. Variabili sperimentali.

Le variabili scelte erano di due tipi principali, le velocità e gli angoli. Oltre a ciò le variabili comprendevano quelle che si ritiene abbiano significatività pratica e teorica. Sono state misurate tre componenti della velocità del sistema formato dall'atleta e dallo sci: la verticale, l'orizzontale e quella reale (fig. 5).

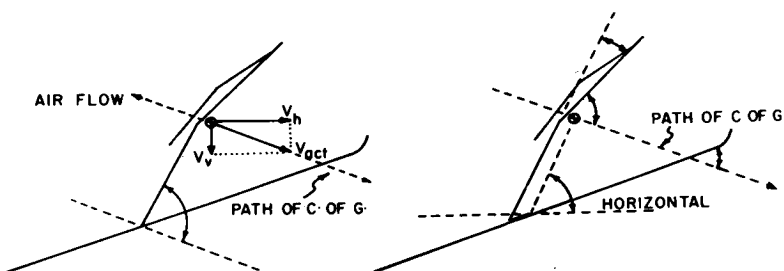


Fig. 5 - Variabili misurate in relazione al centro di gravità ed alla sua traiettoria.

Ulteriori informazioni sulla velocità dell'atleta sulla distanza di 10 m sulla piattaforma sono state ottenute con un sistema di fotocellule, come originariamente era stato suggerito da Straumann (1955). Per determinare il percorso di volo che rappresentava la direzione della corrente dell'aria al di sopra dello sciatore è stato usato anche il centro di gravità.

Gli angoli fra il percorso di volo e 1) la parte superiore del corpo, 2) la parte inferiore del corpo, 3) gli sci, sono stati misurati. Le variabili pratiche erano costituite dagli angoli fra la parte inferiore della gamba, gli sci e l'orizzontale nonché dagli angoli fra la parte superiore del corpo, e gli sci (fig. 6).

Dato che lo stacco era considerato della massima importanza per una buona prestazione, si sono condotte ulteriori analisi. E' stata misurata la distanza percorsa sulla piattaforma dal momento in cui si poteva osservare un movimento delle mani o del fianco dell'atleta, fino al momento in cui raggiungeva la posizione di stacco. E' stato calcolato anche il tempo trascorso fra queste due posizioni, chiamato tempo di stacco.

2.4. Procedimenti di analisi cinematografica.

Ai fini dell'analisi dei dati e della pellicola i salti sono stati divisi in quattro parti. La I fase comprendeva gli ultimi 7 metri sulla piattaforma fino allo stacco. La II fase andava dallo stacco a circa 8 metri del volo. La III fase comprendeva la parte principale del volo, mentre la IV fase comprendeva la fine del volo e l'arrivo.

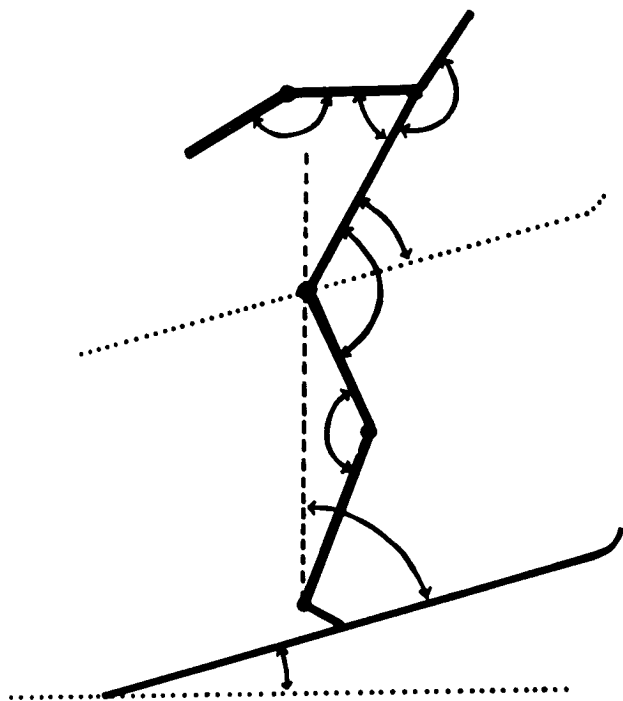


Fig. 6 - Gli angoli del corpo che rappresentano le variabili investigate.

Il primo passo da fare era quello di misurare la velocità delle macchine da presa I e III per tutte le prove. Questa misura si è fatta contando il numero di segnali di tempo apparsi sui margini della pellicola in cui si svolgeva il movimento. Da questi dati si poteva calcolare la velocità dell'inquadratura in immagini-secondo, e il tempo per inquadratura (realmente il tempo fra immagini successive). Per ciascuna prova è stato usata una velocità in inquadratura specifica, basata su questo procedimento di misurazione.

La trasformazione della grandezza proiettata nella grandezza reale è stata fatta calcolando dei multipli basati sulla lunghezza proiettata di un oggetto la cui lunghezza era nota. Questa risulta normalmente fotografando un oggetto nel piano del movimento, ma ovviamente non era possibile in questo caso. Ad ogni modo, gli sci che avevano una lun-

ghezza che andava da 245 a 250 cm, hanno fornito la base per il calcolo del fattore di conversione.

2.4.1. I Fase.

L'analisi della pellicola è stata effettuata con una mo-
viola Vanguard (fig. 7). Questa macchina consentiva di mi-
surare esattamente i dati delle coordinate X e Y, che venivano
registrate direttamente su un nastro di carta e su carta
da telescrivente.

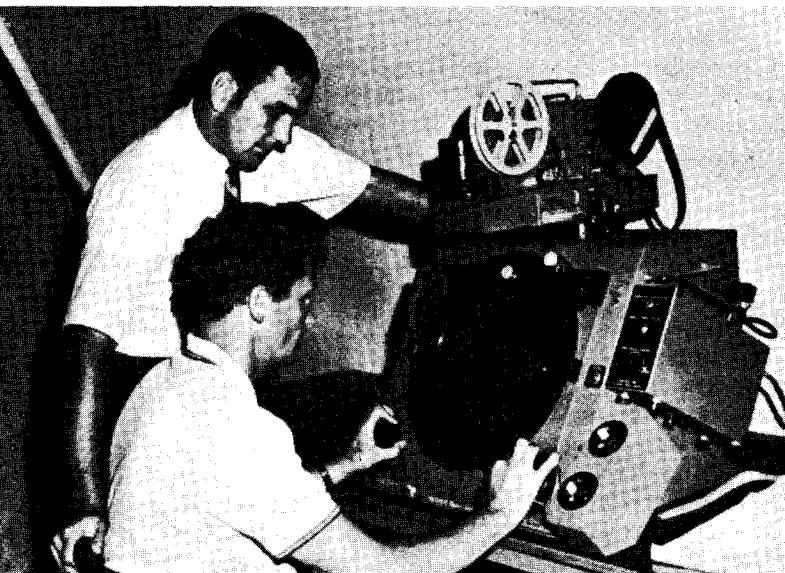


Fig. 7 - Il « Vanguard motion analyzer » usato per l'analisi dei fil-
mati.

A seguito della grande velocità dell'inquadratura non
era necessario esaminare tutte le inquadrature. Per la I fase
è stata scelta ogni terza inquadratura, identificando prima
l'inquadratura dello stacco, quella in cui la parte centrale
dello scarpone era direttamente sopra lo spigolo della piat-
taforma.

A questo punto si faceva girare all'indietro il proiet-
tore per 51 inquadrature, fino a un punto in cui ha avuto
inizio l'analisi. Ogni terza inquadratura è stata analizzata,
con il risultato di 18 posizioni del corpo durante la I fase.

Questo procedimento è stato usato per essere sicuri che l'inquadratura contenente il punto di stacco fosse compresa nell'analisi. Dato però che la velocità degli atleti non era la stessa e che la velocità delle inquadrature non era la stessa per tutti i soggetti e variava da 6,6 a 7 metri.

I punti specifici per cui misuravano i dati delle coordinate X e Y in ciascuna inquadratura erano i seguenti: il centro del capo, la spalla, il gomito, l'estremità delle dita, il fianco, il ginocchio, il malleolo e il calcagno dello scarpone. Siccome in questa fase non era possibile vedere gli sci, non si sono fatte misure.

I dati X e Y sono stati utilizzati per calcolare il centro di gravità dell'atleta, con il metodo dei segmenti. I dati del lavoro di Dempster (1955) sono stati impiegati per valutare il peso relativo e la localizzazione del centro di gravità di ciascuna parte del corpo.

La posizione del centro di gravità ha costituito la base per calcolare la velocità verticale, orizzontale e reale da una posizione alla successiva per tutto il movimento sul piano inclinato e sulla piattaforma nella I fase.

2.4.2. II Fase.

Questa parte comprendeva il movimento dello stacco per circa 8 metri di volo. Abbiamo analizzato ogni quinta inquadratura che risultava fra 16 e 19 inquadrature, a seconda della velocità specifica dell'inquadratura e le velocità dell'atleta. Oltre ai dati X e Y registrati nella I fase, sono state calcolate anche le coordinate dell'estremità degli sci.

Le coordinate della parte anteriore degli sci sono state prese in un punto della sezione diritta vicina all'inizio della curva. Quando gli sci erano paralleli, si registravano delle doppie ordinate. Se gli sci erano separati (visti di fianco) si registravano delle coordinate separate per ciascuno degli sci.

Questi valori fondamentali di X e Y sono stati impiegati per calcolare il centro di gravità del sistema formato dallo sciatore e dagli sci, per calcolare tutti gli angoli e le tre velocità.

2.4.3. III e IV Fase.

In questa fase si sono applicati gli stessi procedimenti di misurazione e le stesse variabili usati nella II Fase. La macchina n. 2 riprendeva la terza fase, mentre la macchina n. 3 riprendeva la quarta.

2.5. Il lavoro al calcolatore, la riduzione dei dati e la presentazione grafica.

Le coordinate X e Y e i dati ricavati dalla pellicola venivano immediatamente riportati su un nastro di carta. Questi nastri venivano controllati per vedere se c'erano errori, che venivano subito corretti. A questo punto si è fatto il calcolo di tutte le variabili sperimentali usando dei programmi appositamente preparati, con il calcolatore Hewlett Packard Modello 2115 (fig. 8).



Fig. 8 - Il computer « 2115 Hewlett Pachard » usato per il trattamento e la riduzione dei dati.

A causa delle limitazioni connesse ai metodi di analisi cinematografica, le variabili calcolate erano alquanto irregolari. I dati hanno dovuto essere trasferiti dal calcolatore del laboratorio su schede IBM in modo da poter fare un'operazione matematica di regolarizzazione sul calcolatore IBM modello 360-67 al centro dell'Università di Pennsylvania. I dati elaborati sono stati poi tracciati in modo da ottenere un grafico dei risultati. Questi grafici hanno costituito la base delle illustrazioni finali preparate da Kalevi Karmitsa.

3. I RISULTATI.

Questo capitolo comprendente i risultati e le discussioni viene presentato in due parti. La prima comprende le analisi descrittive dei diversi parametri biomeccanici, mentre la seconda comprende le relazioni reciproche tra le variabili prescelte e le loro interpretazioni.

3.1. L'analisi descrittiva.

I risultati della riduzione dei dati e dell'analisi sono stati usati per ricostruire i profili biomeccanici dallo stacco all'arrivo per tutti i trenta atleti. (Appendice A). Vi erano compresi il percorso del centro di gravità del sistema sciatore-sci, e le velocità orizzontale, verticale e attuale. Il profilo del vincitore (Kiehl) è riportato in fig. 9, come un esempio.

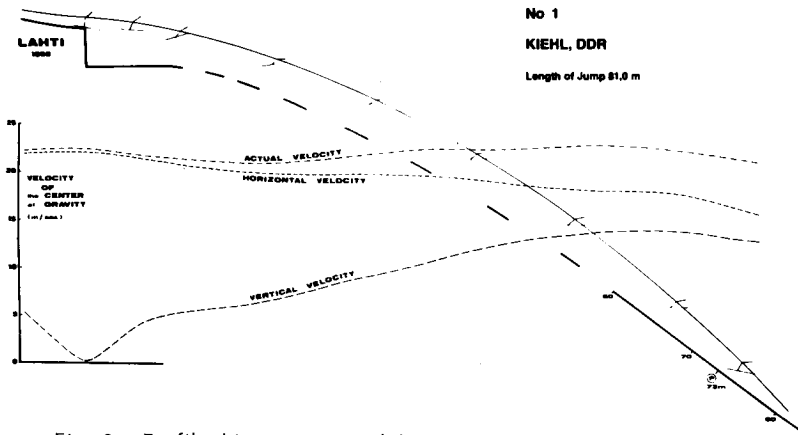


Fig. 9 - Profilo biomeccanico del salto di Kiehl (D.D.R.), che mostra le componenti della velocità e la traiettoria del centro di gravità.

Questa descrizione del salto può essere impiegata per valutare la tecnica di un atleta e confrontarla con quella di altri atleti. In fig. 10 si vede il profilo di Kiehl e quello di un atleta medio (Ruotsalainen). Sono evidenti le differenze nello stacco e nella prima parte del volo, ma a circa 20 metri i due percorsi di volo sono quasi identici. C'è da osservare che per la maggior parte degli atleti la velocità reale durante il volo è rimasta quasi costante. Questo fatto si verifica perché la diminuzione della velocità orizzontale

KIEHL-RUOTSALAINEN

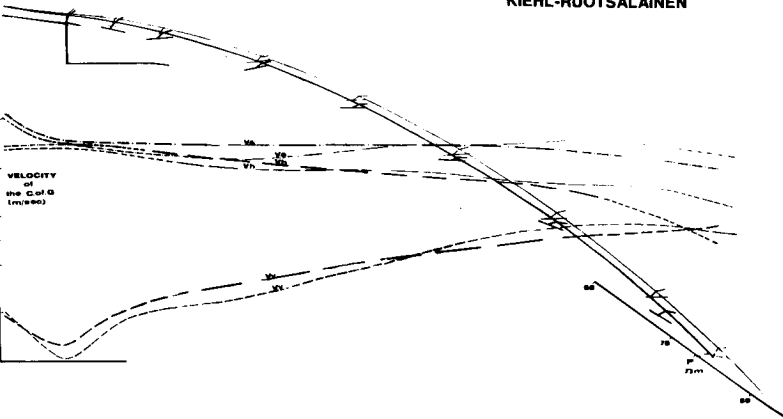


Fig. 10 - Confronto del profilo biomeccanico del salto di Kiehl e di quello di Ruotsalainen.

provocata dalla resistenza dell'aria è controbilanciata dall'aumento della velocità verticale dovuta alla gravità.

Lo stacco è stato considerato come la parte più importante per un buon risultato, e quindi questa fase è stata studiata più approfonditamente. I risultati si vedono in figura 11-18 e nella tabella 2, nonché nell'appendice B. Per quanto la ricerca precedente avesse messo in evidenza la velocità reale dello stacco, si è deciso di studiare le componenti orizzontali e verticali nonché la velocità reale. Queste componenti sono state determinate attraverso la posizione del centro di gravità immediatamente prima, durante e subito dopo lo stacco. Oltre a ciò è stata determinata una velocità media (V_{str}) sugli ultimi dieci metri sulla piattaforma, per mezzo di un sistema di fotocellule inventato da Straumann. Nella tabella n. 2 sono riportati i dati individuali e le medie del gruppo per queste componenti, oltre ai dati della distanza e del tempo richiesto per eseguire lo stacco. Come previsto, le velocità orizzontali sono leggermente inferiori alla velocità reale, dato che il movimento è soprattutto orizzontale nel momento dello stacco.

Le velocità verticali servono a indicare a quale punto l'atleta ha elevato il suo centro di gravità nel momento dello stacco. Tutti i valori indicano un movimento verso il basso (normalmente indicato come negativo).

Significativo è il fatto che nessun atleta è stato in grado di raggiungere una velocità uguale a zero (movimento perfettamente orizzontale). Nel vincitore si è riscontrata

Tavola 2^a - Velocità, distanza e tempo di stacco.

No.	Jump Dist.(m)	Take Off Velocity (m/sec.)				Take Off	
		Vertical	Horizontal	Actual	Straumann	Dist.(m)	Time (sec)
1	81.0	0.61	22.29	22.31	21.98	6.60	0.30
2	80.0	1.97	22.62	22.72	22.99	—	—
3	79.5	1.55	21.36	21.41	22.99	5.60	0.26
4	79.0	1.42	22.09	22.14	23.26	6.60	0.26
5	79.0	1.44	21.10	21.15	22.73	—	—
6	78.0	1.64	24.63	24.70	22.22	—	—
7	78.0	1.80	22.14	22.22	21.78	—	—
8	78.0	1.63	22.05	22.12	22.73	6.60	0.30
9	77.5	1.21	24.14	24.19	22.99	—	—
10	77.5	1.67	24.43	24.50	22.47	—	—
11	76.0	1.85	23.82	23.90	21.98	—	—
12	75.5	1.35	25.05	25.08	22.22	—	—
13	75.5	1.48	23.57	23.63	21.74	—	—
14	75.0	1.73	22.00	22.07	22.73	6.80	0.31
15	74.5	1.36	21.62	21.68	22.73	4.90	0.23
16	74.5	2.23	23.24	23.36	22.47	—	—
17	74.0	1.24	21.59	21.67	21.05	5.60	0.26
18	73.5	1.84	24.83	24.91	22.99	—	—
19	73.5	1.70	22.85	22.92	21.98	—	—
20	73.5	1.23	23.19	23.23	21.74	—	—
21	73.5	1.26	23.58	23.62	22.73	—	—
22	73.0	1.44	21.48	21.55	22.22	6.90	0.32
23	72.5	1.34	24.45	24.49	21.51	—	—
24	71.0	1.63	20.93	21.02	21.51	6.10	0.28
25	70.5	1.53	22.97	23.04	21.74	—	—
26	70.0	2.04	20.92	21.02	21.98	—	—
27	69.0	1.59	24.03	24.10	21.74	6.90	0.29
28	68.5	1.68	23.84	23.91	22.47	5.20	0.22
29	65.5	1.82	24.09	24.18	21.51	—	—
30	63.0	2.18	24.00	24.10	21.51	8.00	0.34
\bar{X}	74.32	1.58	22.96	23.03	22.22	6.32	0.28
S.D.	4.29	0.10	1.26	1.26	0.58	0.87	0.04

la velocità verticale più bassa (Kiehl), quindi egli è riuscito meglio di tutti a portare in alto il suo centro di gravità al momento dello stacco. Le velocità Straumann erano inferiori a quelle misurate al momento dello stacco. Ciò era prevedibile, in quanto V_{str} rappresentava una velocità media sugli ultimi dieci metri, mentre la velocità reale misurata durante lo stacco si avvicinava alla velocità massima raggiunta sulla piattaforma.

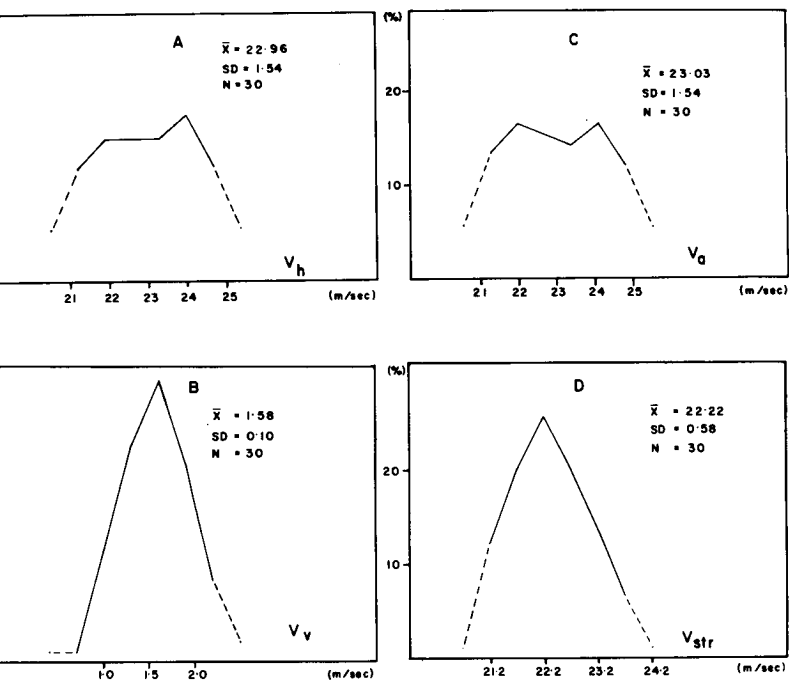


Fig. 11 - Distribuzione della velocità orizzontale (A), verticale (B), e attuale nel momento dello stacco e (D), velocità di Straumann.

La distribuzione della frequenza di queste velocità è rappresentata graficamente in fig. 11. Si può osservare che la velocità Straumann è notevolmente meno variabile delle velocità che si verificano durante l'inizio e l'esecuzione del movimento di stacco. Benché la variazione dei valori della velocità verticale fosse soltanto di circa 1,5 m/sec., l'importanza di questa componente non deve essere trascurata.

L'ulteriore studio dello stacco comprendeva la distanza e il tempo richiesto per il primo movimento apprezzabile delle mani o del fianco rispetto a una posizione all'estremità della piattaforma.

Dato che si sono potute eseguire delle misure soltanto per 12 dei 30 soggetti allo studio, si sono aggiunti i dati riguardanti altri 36 atleti, in modo da ottenere un campione di 48 metri. In fig 11 si vedono le distribuzioni della frequenza e i dati statistici descrittivi di queste due variabili. Si può osservare l'importanza di una rapida esecuzione dello

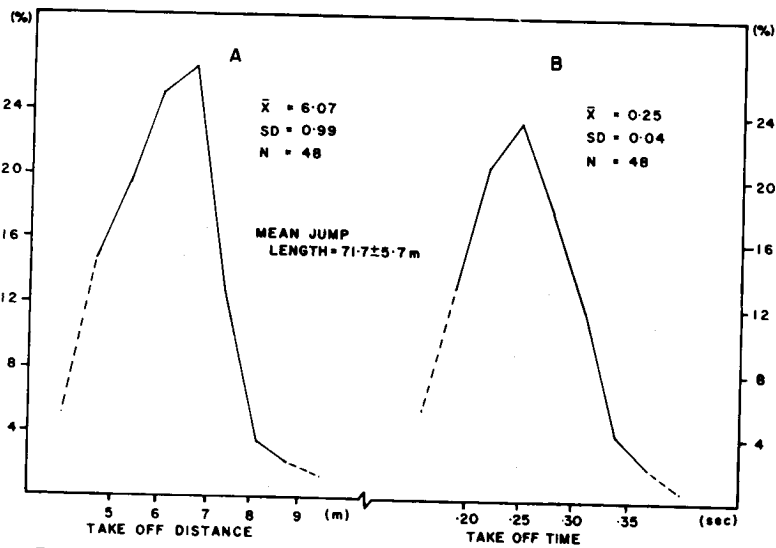


Fig. 12 - Distribuzione della distanza (A) e del tempo (B), di stacco.

stacco nella distanza media (6,07 m) e nel tempo medio (0,25 sec.) richiesti per eseguire questo movimento di estensione.

Abbiamo misurato gli angoli scelti, del corpo e di segmenti del corpo, nella posizione di stacco. (Vedi appendice B). In fig. 13 si vede la distribuzione di quattro di questi

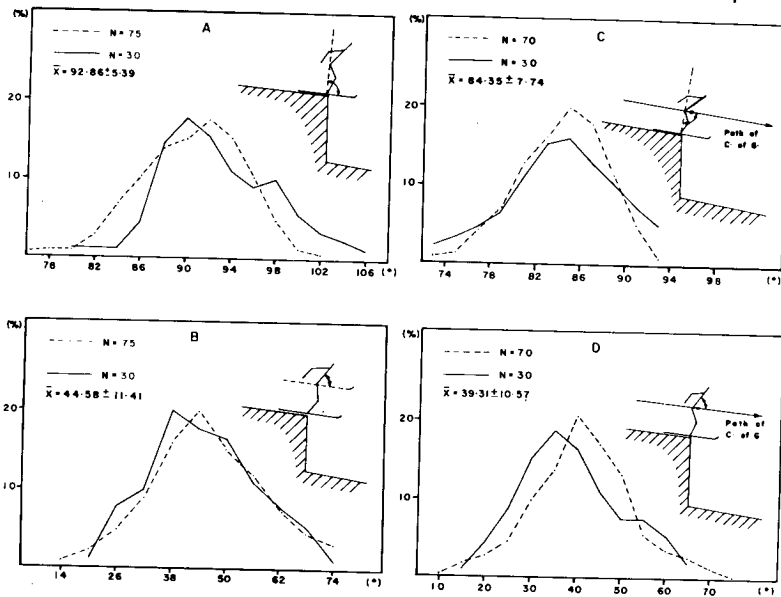


Fig. 13 - Andamento degli angoli fra i segmenti superiore e inferiore del corpo e gli sci (A, B), e traiettoria del centro di gravità (C, D).

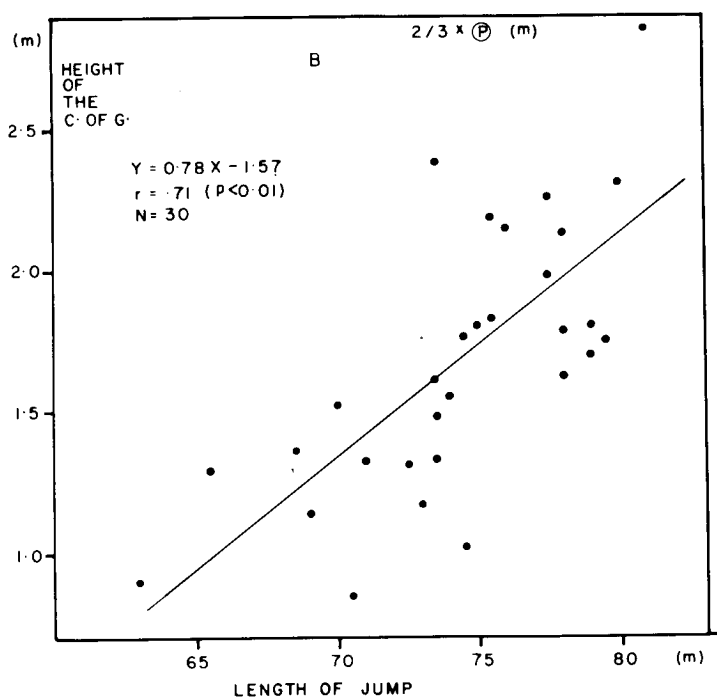
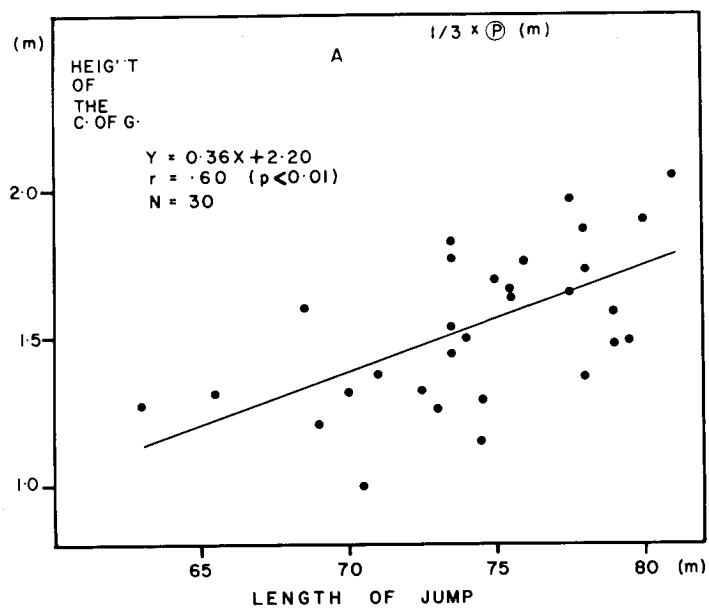


Fig. 14 - Relazionamento fra la lunghezza del salto e l'altezza del centro di gravità ad 1/3 P (A) e a 2/3 P (B).

soggetti, per avere uno studio più completo. I dati dei soggetti n. 30, 70 e 75 mostrano una notevole variabilità dei quattro angoli. La forma della distribuzione, comunque, rappresenta la variabilità biologica che si osserva spesso nei dati sulle prestazioni dell'uomo.

3.2. Interdipendenza di variabili prescelte.

E' stata condotta anche un'analisi dell'importanza relativa di determinati parametri biologici per la lunghezza del salto. Inoltre sono state stabilite alcune interdipendenze fra queste variabili. I risultati dello studio sono riportati nelle figure 14-18.

L'altezza del centro di gravità del sistema atleta-sci in due punti del percorso di volo è stata riferita alla lunghezza del salto (fig. 14 A, B). Questi valori dell'altezza rappresentavano la distanza verticale sopra una coordinata convenuta X-Y in due punti, 1/3P e 2/3P. I risultati mostrano chiaramente che esiste una forte dipendenza fra questi valori dell'altezza e la lunghezza del salto (r 's = .60 e .70). Il rapporto fra i due valori dell'altezza riportati in fig. 15,

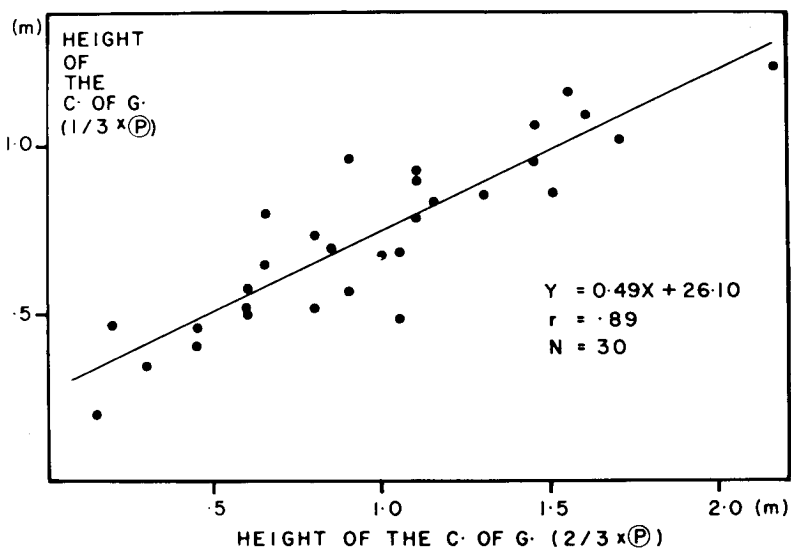


Fig. 15 - Relazionamento fra le varie altezze del centro di gravità ad 1/3 P e a 2/3 P.

indica che l'altezza dell'atleta subito dopo lo stacco influisce direttamente sull'altezza dell'ultima parte del volo ($r = .89$).

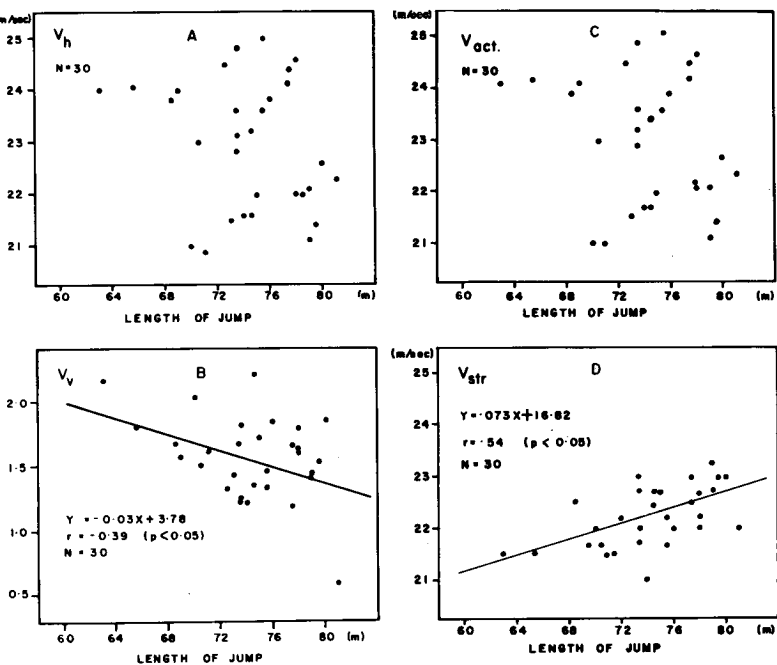


Fig. 16 - Relazioni tra la lunghezza del salto e la velocità orizzontale (A), verticale (B), attuale (C), e di Straumann (D), allo stacco.

Le velocità registrate al momento dello stacco sono state messe in rapporto con la lunghezza dei salti (fig. 16 A-D). Di queste velocità, la velocità orizzontale e le velocità reali non sono risultate essere in correlazione con la lunghezza del salto. La velocità verticale ha rivelato una bassa relazione negativa ($r = -.39$) che fa pensare a una tendenza verso un risultato migliore in quei saltatori che si portano più in alto nello stacco. La velocità registrata con la tecnica Straumann (distanza 10 m) era correlata positivamente con la distanza ($r = .54$). Comunque, non è stato osservato un rapporto fra V_{str} e un tipo di velocità più istantaneo, V_a (fig. 17).

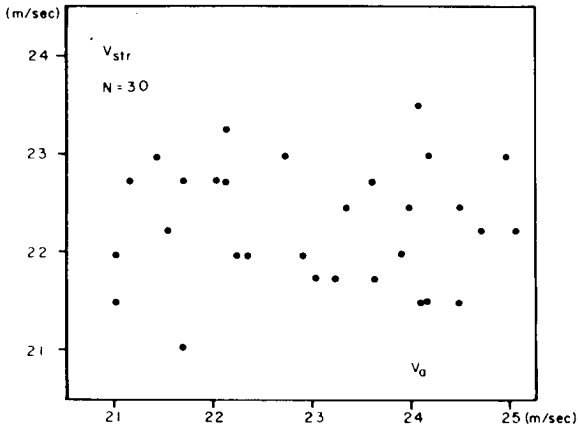


Fig. 17 - Relazione tra la velocità attuale di stacco e velocità di Straumann.

Forse la fase più critica del salto con gli sci è l'esecuzione del movimento di stacco. Nel presente lavoro sia la distanza che il tempo per eseguirlo sono stati rapportati alla distanza del salto (fig. 18 A, B). Si vede che in entrambi i casi la correlazione è negativa con quella per la distanza ($r = -.42$), che è statisticamente significativa. Questo risultato fa intuire che gli atleti migliori iniziano il movimento più vicino allo spigolo della piattaforma, mentre completano lo stacco in un tempo inferiore.

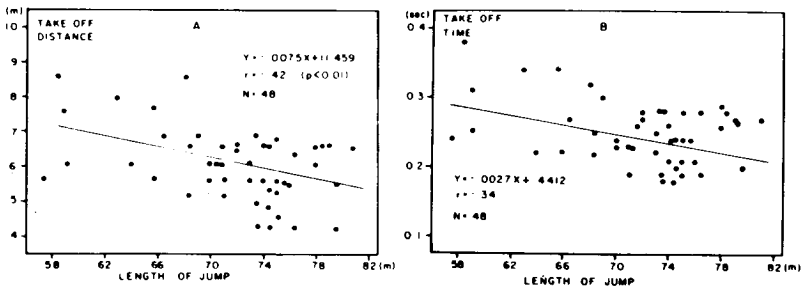


Fig. 18 - Relazione tra la lunghezza del salto e la distanza di stacco (A), ed il tempo di stacco (B).

4. DISCUSSIONE.

Al buon rendimento nel salto con gli sci contribuisce l'interazione di molti fattori. Perciò riesce difficile identificare i fattori più importanti. I calcoli teorici e le misure eseguite nella galleria aerodinamica (Straumann, 1926, Tani e Luchi, 1971) ci hanno fornito i valori di base per la posizione ottimale del sistema atleta-sci nell'aria. La lunghezza massima del salto è stata considerata come l'obiettivo principale da tenere presente nel definire le condizioni ottimali. Secondo i recenti esperimenti di Tani e Luchi (1971) sul volo soltanto, la distanza massima può essere raggiunta con gli angoli del sistema atleta-sci, riportati in fig. 19.

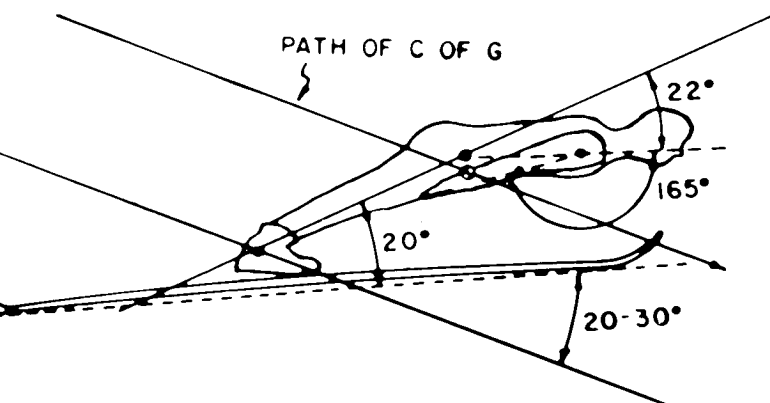


Fig. 19 - Posizione aerodinamica ottimale del saltatore con gli sci ($V_0 = 24$ m/sec.).

I valori riportati si applicano in primo luogo ai trampolini in cui V_a al momento dello stacco (V_0) è uguale a 24 m/sec. Secondo gli autori, tuttavia, gli angoli presentati possono essere applicati anche a salti in cui V_0 è leggermente inferiore a 24 m/sec. Gli angoli ottimali sono basati su calcoli e misure eseguite con un manichino di grandezza naturale. Per aumentare la distanza del volo al di là di quella che risulta dalla posizione ottimale, si dovrebbe cercare di aumentare il sollevamento SL (*). Queste possibili

(*) Il sollevamento e la resistenza si riferiscono alle forze che agiscono sull'atleta in aria. Per ottenere il valore di D e di L sono

lità sono comunque limitate a varianti modeste nella larghezza degli sci, delle spalle e della parte inferiore del corpo

Benché nel nostro studio non sia stata effettuata una analisi approfondita della posizione dell'atleta in aria, i dati ottenuti tendono a confermare quelli indicati dagli autor giapponesi. Nell'analisi dei dati abbiamo dato la massima importanza a quei fenomeni che si verificano durante lo stacco e l'inizio del volo. Il rapporto significativo individuato fra l'altezza del centro di gravità e il punto di 1/3 della distanza del segno P e la lunghezza del salto fa pensare che il buon esito del salto sia determinato soprattutto dalle manovre eseguite dall'atleta durante e subito dopo lo stacco

Come risulta dai valori di V_v riportati in fig. 16, nessun atleta è stato in grado di fare lo stacco con un angolo positivo β (*). Il valore V_v , di 61 m/sec. per il vincitore della gara (Kiehl) sottolinea comunque l'importanza di portare più in alto il centro di gravità durante lo stacco. Straumann (1957) ha riferito che alle Olimpiadi, gli atleti migliori hanno realizzato un angolo $\beta > 0$. Nel trampolino di Cortina il pendio della piattaforma era -7° contrariamente a -9° di quello di Lahti. Per conseguenza un confronto diretto fra i suoi risultati con quelli di Lahti è difficoltoso.

Con l'aumento dell'angolo di stacco per mezzo di una forte estensione del corpo, l'atleta è sottoposto a un drastico incremento della superficie di resistenza S_D . Quando gli altri fattori sono uniformi, la lunghezza del salto dipende dall'angolo di stacco e dalla velocità: $L = f(V_o, \beta)$ e il compito principale dell'atleta durante lo stacco è di rendere ottimali questi valori. Rimane da vedere, comunque, se al momento dello stacco è possibile ottenere un aumento della velocità reale. Al contrario, il tentativo di aumentare β o di diminuire V_v porta a una riduzione di V_o . Secondo i calcoli di Hochmuth (1958) per il trampolino che può essere confrontato con uno di quelli di Lahti, un aumento di 3° di β provo-

state usate le seguenti equazioni:

$$D = 1/2\delta V_a^2 S_D$$

$$L = 1/2\delta V_a^2 S_L$$

dove δ = densità dell'aria, S_D = la superficie di resistenza, S_L = la superficie di sollevamento (per le derivazioni e le altre forze che agiscono sull'atleta in aria, vedi Hochmuth, 1958, e Tani e Iuchi, 1971) rappresenta l'angolo fra l'orizzontale e la linea che unisce il centro di gravità con gli scarponi.

(*) β si riferisce all'angolo tra l'orizzontale e la linea che unisce il centro di gravità e gli scarponi.

cherà una diminuzione di 1,0 m/sec di V_o , ma l'aumento di L è tuttavia di 9-14 m.

Oltre a portare al massimo il sollevamento verticale, lo stacco dovrebbe consentire anche all'atleta di assumere rapidamente la posizione aerodinamica ottimale. I fattori interessati in questo movimento, il momento torcente, la pressione dell'aria e l'attrito della neve, non sono stati analizzati in questo lavoro.

Può darsi tuttavia, che confrontando i diversi profili si possano trarre delle conclusioni generali. Per esempio, le posizioni prese da Kiehl e Ruotsalainen durante il volo e riportate in fig. 10, indicano le condizioni per cui le traiettorie del centro di gravità erano così diverse all'inizio del volo. Non soltanto Ruotsalainen aveva un valore basso, che si rileva dall'alto valore di V_v , valore al momento dello stacco, ma egli non ha preso rapidamente la posizione ottimale di volo, come si vede in fig. 19. Ciò appare particolarmente evidente dal ritardo con cui si sono alzati gli sci dopo aver lasciato lo spigolo della piattaforma.

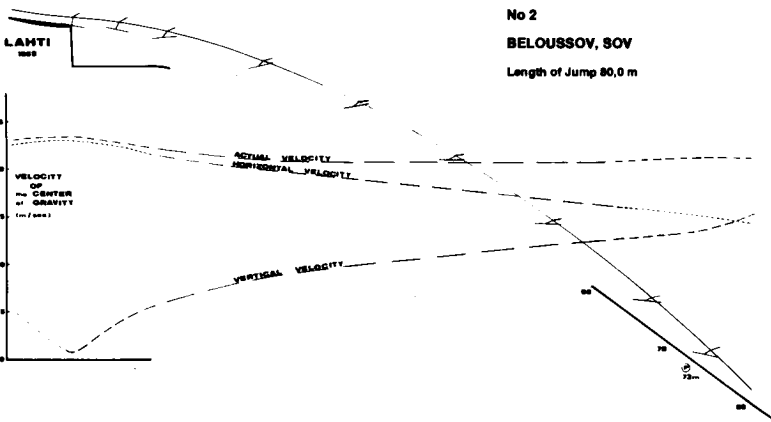
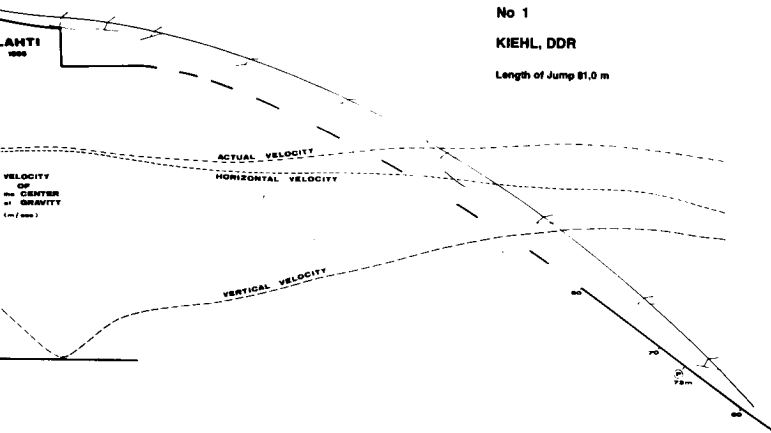
Durante l'allenamento nel salto con gli sci si deve tendere a migliorare il sollevamento verticale nel momento dello stacco. I principi indicati dalle conoscenze attuali nel campo del comportamento meccanico dei muscoli possono forse essere importanti per portare al massimo lo sviluppo della forza nel tempo più breve possibile. L'utilizzazione della risposta all'estensione di cui parla Cavagna coi suoi allievi (1965, 1968) è una delle possibilità da tenere presenti seriamente. La risposta di estensione, come si applica al salto sugli sci significa che l'atleta fa una manovra di pre-estensione, immediatamente prima della fase di estensione. Così facendo, lo sviluppo della forza è maggiore, ma lo svantaggio può stare nella difficoltà di regolare il tempo di tutta la procedura dello stacco.

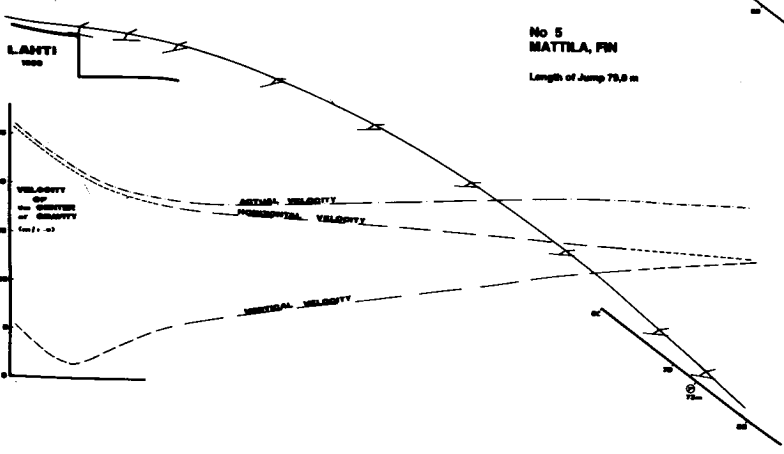
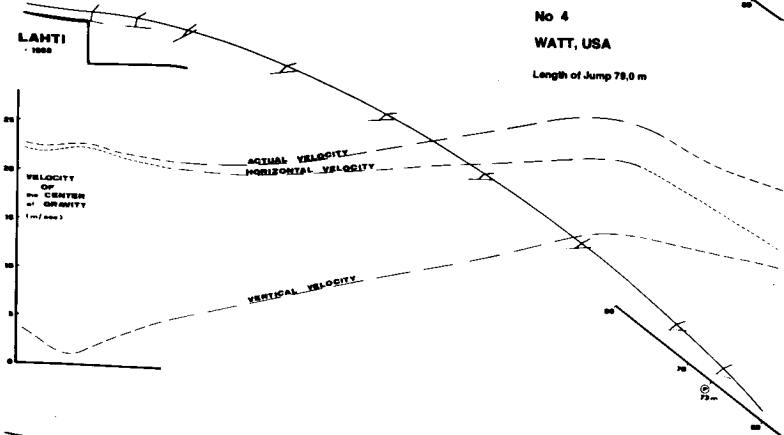
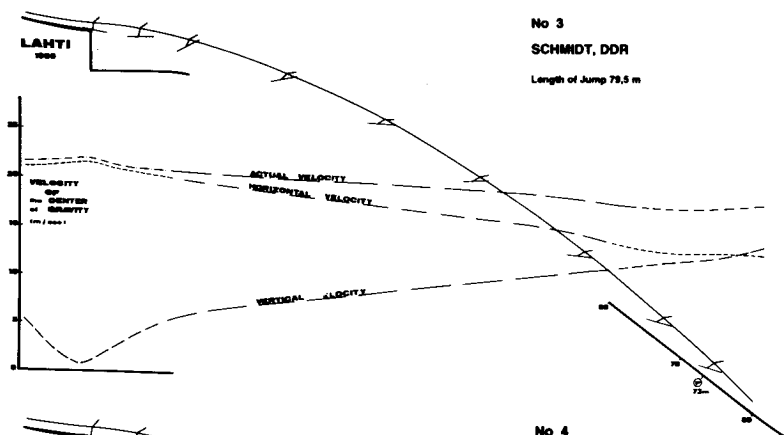
In nessuno dei salti esaminati il movimento di stacco è stato completato nel momento in cui è stato oltrepassato lo spigolo della piattaforma. Ciò mette in evidenza il carattere balistico della contrazione di stacco, dove la maggior parte della forza si è sviluppata nello stadio iniziale di raddrizzamento. Se questo è esatto, l'uso del procedimento di alleggerimento è giustificato. D'altra parte, la continuazione dell'estensione del ginocchio al di là dello spigolo della piattaforma può essere essenziale anche per il rapido sollevamento degli sci alla parte opzionale rispetto al percorso del centro di gravità.

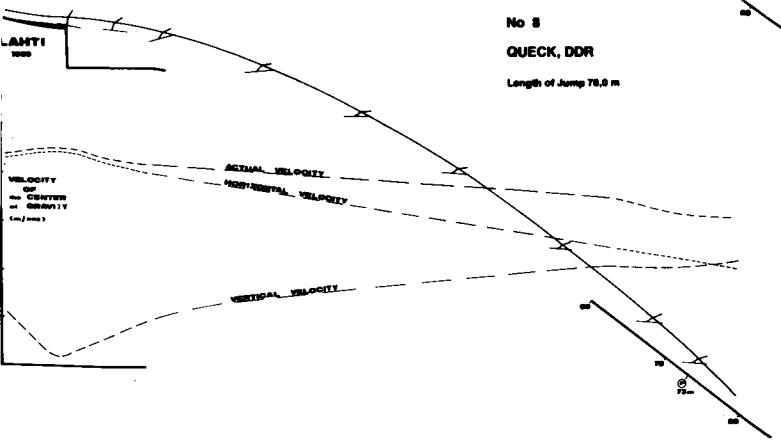
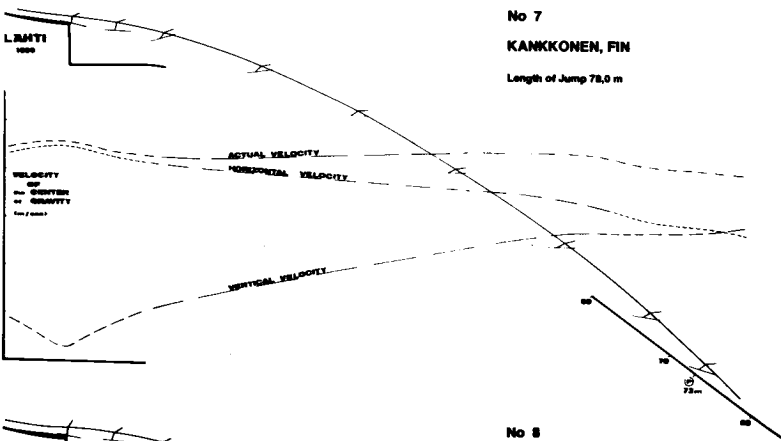
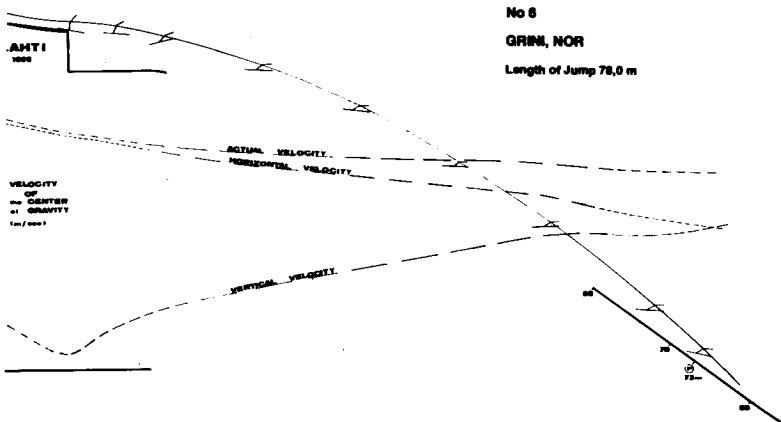
La metodologia usata in questo studio ha permesso di avere dei dati ottimi per descrivere la biomeccanica del salto con gli sci. Particolarmente significativi erano i profili completi di atleti altamente qualificati. Lo studio di questi profili insieme ai dati sulla velocità e sugli angoli formati dal corpo, ha messo in rilievo l'estrema importanza dello stacco e della prima parte del volo ai fini del buon risultato del salto.

Questi risultati, ottenuti durante la situazione reale che si verifica durante una gara, offrono delle informazioni utili di carattere descrittivo, che vanno a completare le conoscenze esistenti, derivate da calcoli teorici e dagli esperimenti condotti nella galleria aerodinamica.

Appendice A: Profili biomeccanici di ciascun saltatore, mostrando le componenti della velocità e la traiettoria del centro di gravità.







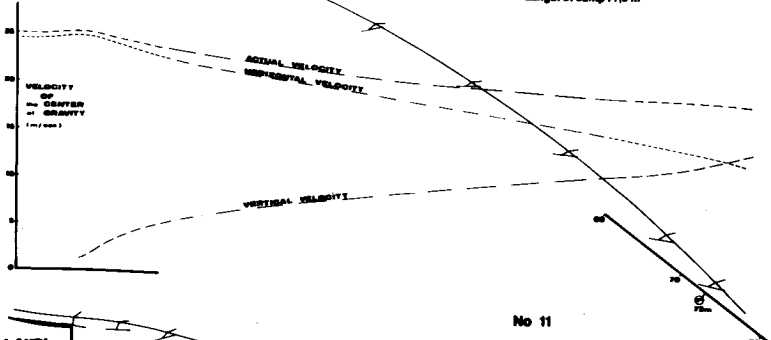
LANTI
1950

No 9
KÄYHKO, FIN
Length of Jump 77.5 m



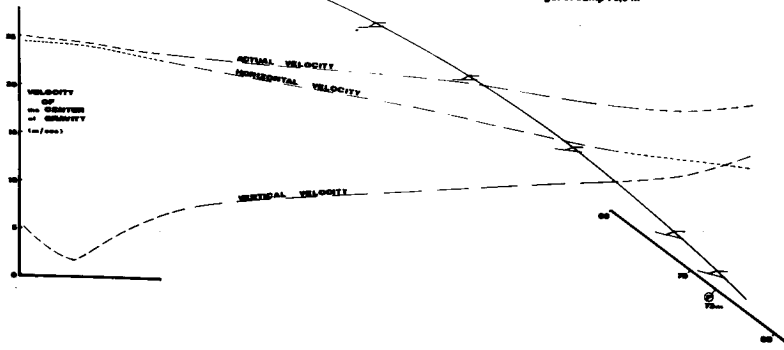
LANTI
1950

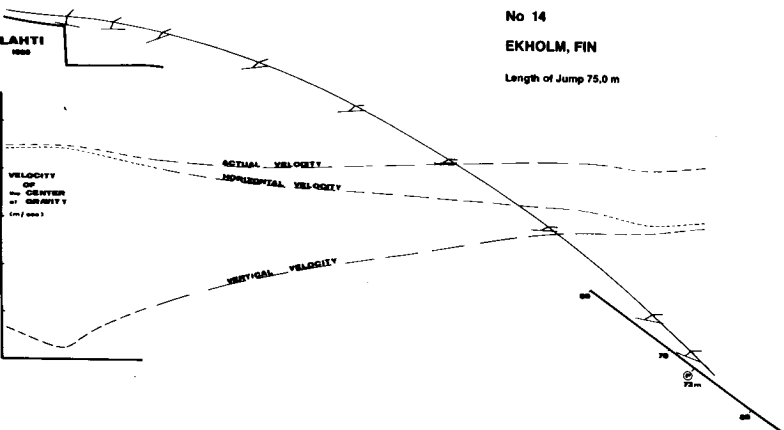
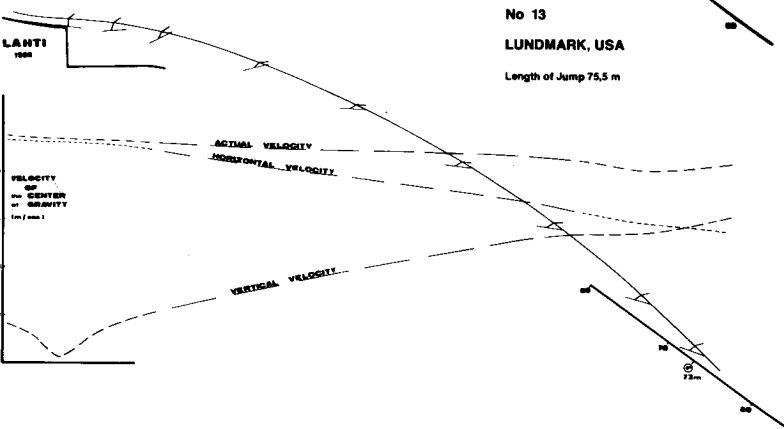
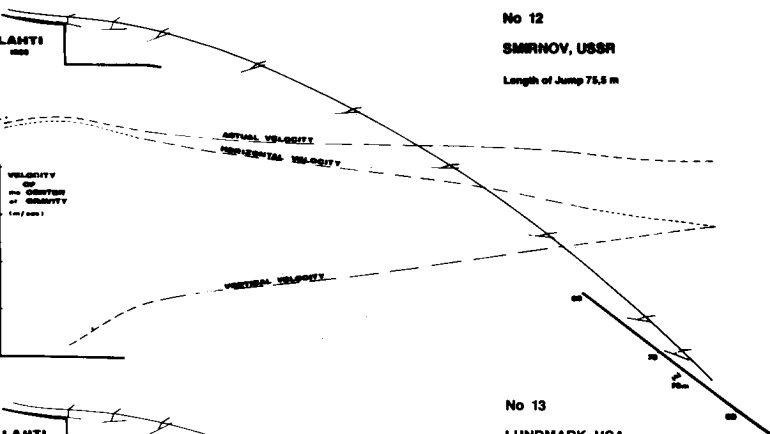
No 10
LAMO, FIN
Length of Jump 77.5 m

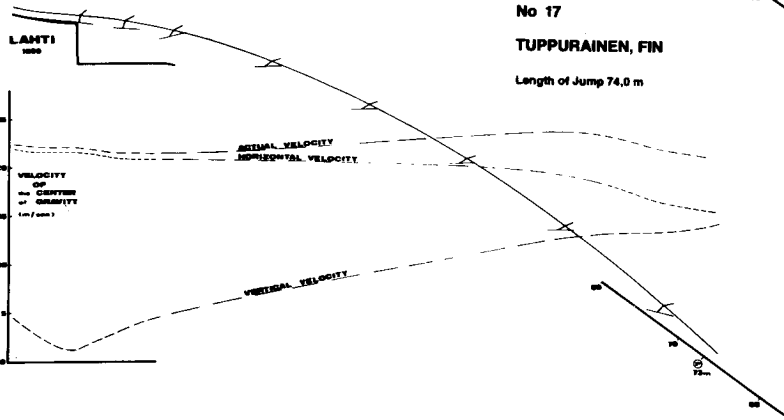
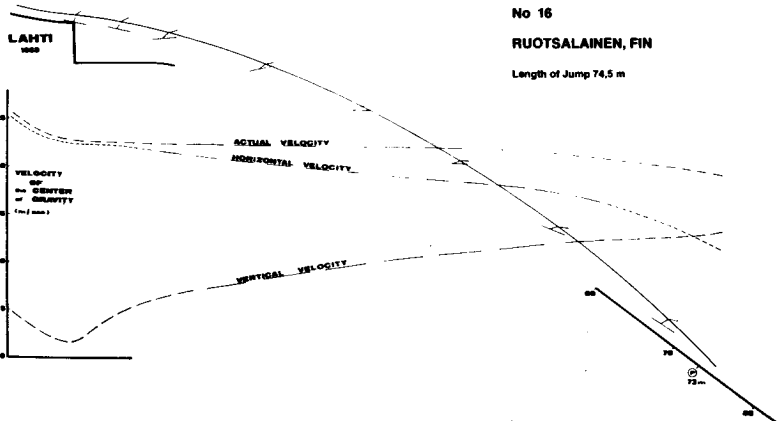
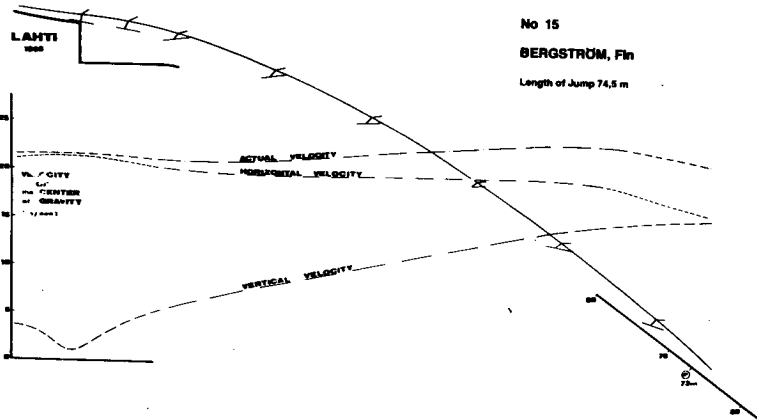


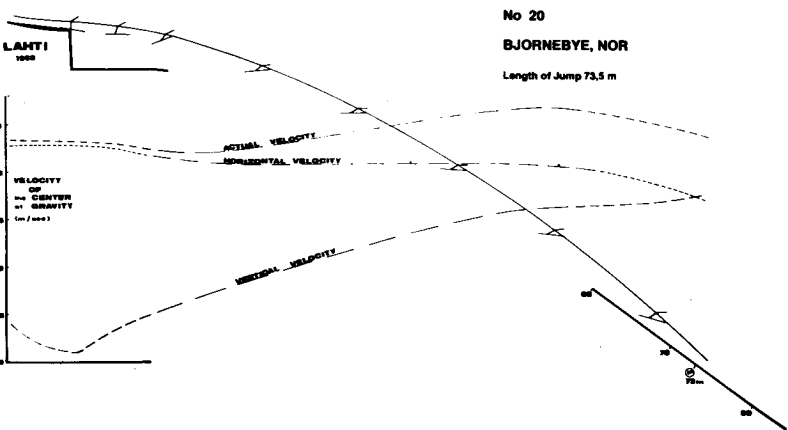
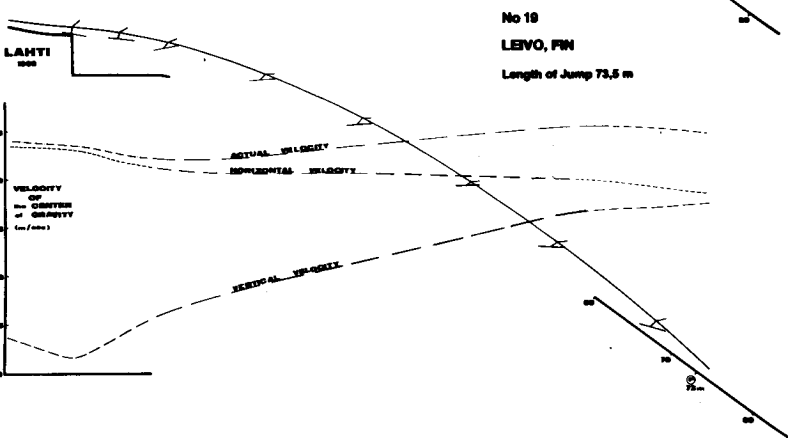
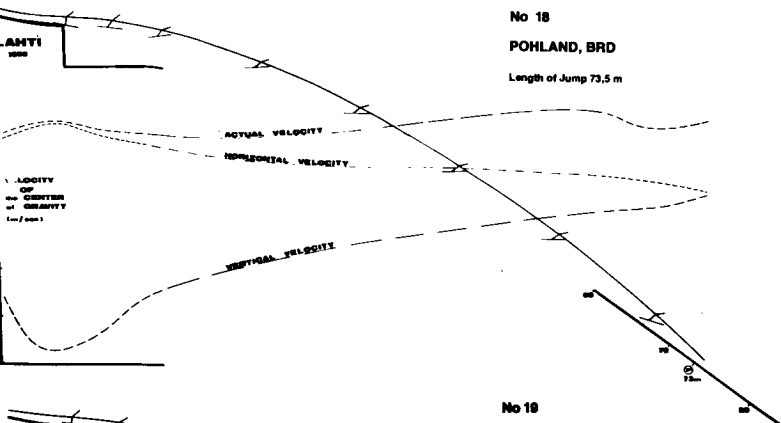
LANTI
1950

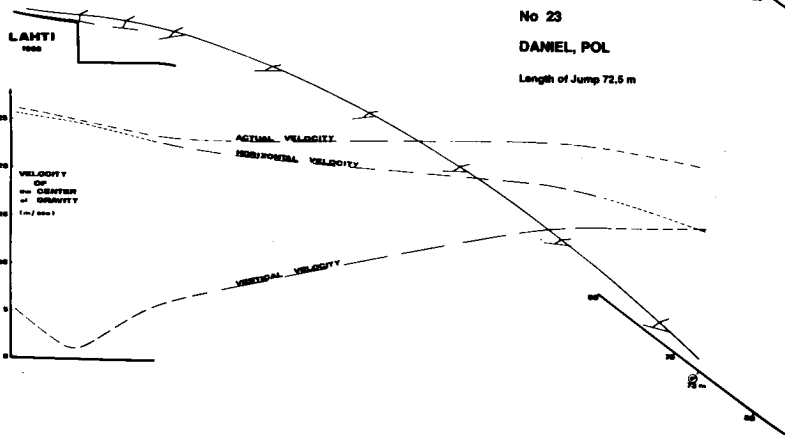
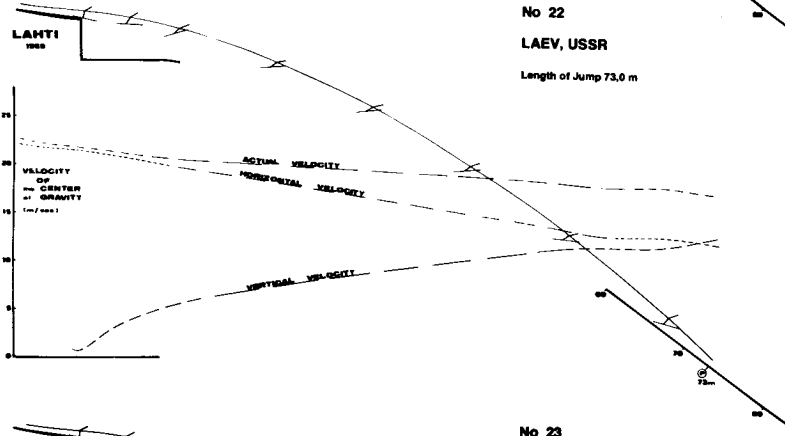
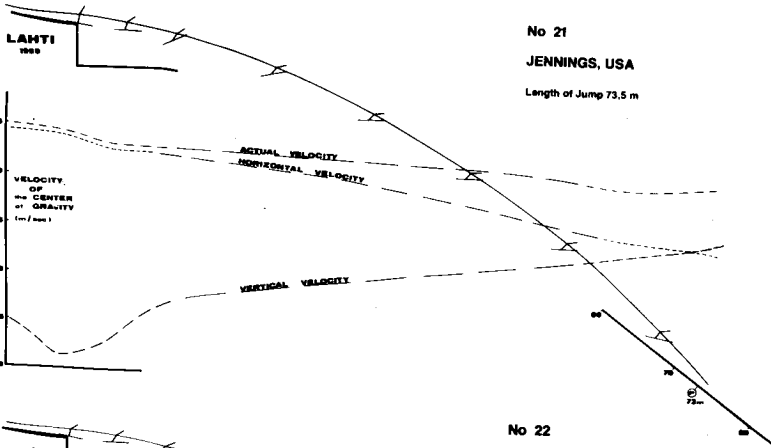
No 11
REJONEN, FIN
Length of Jump 78.0 m

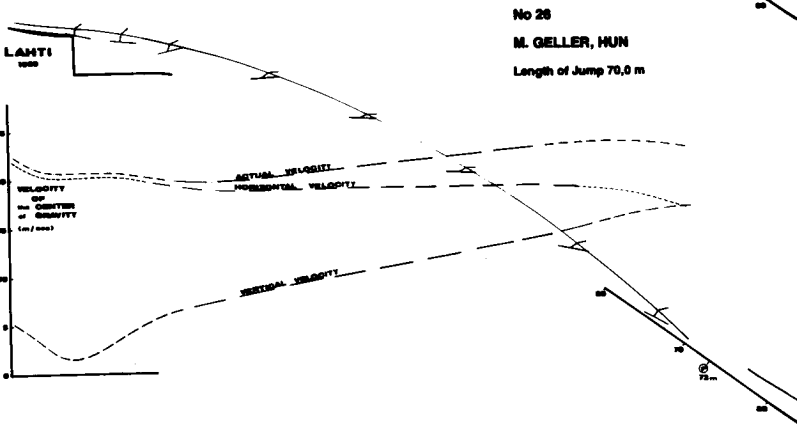
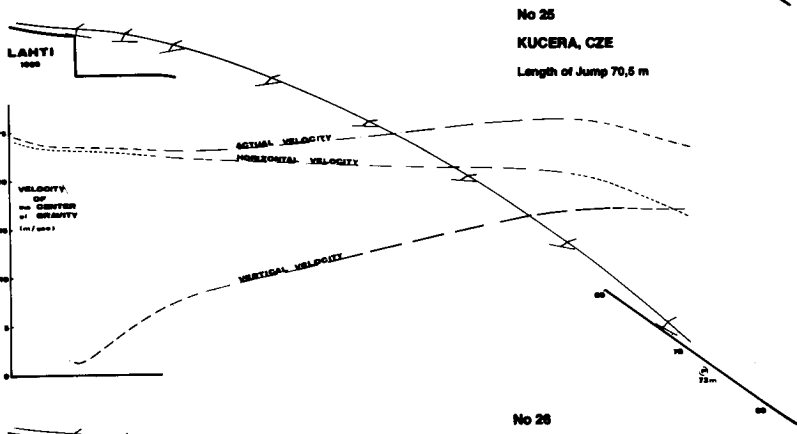
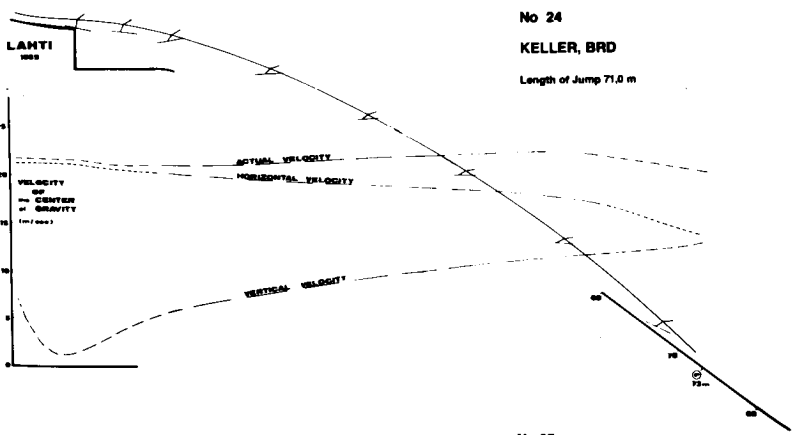


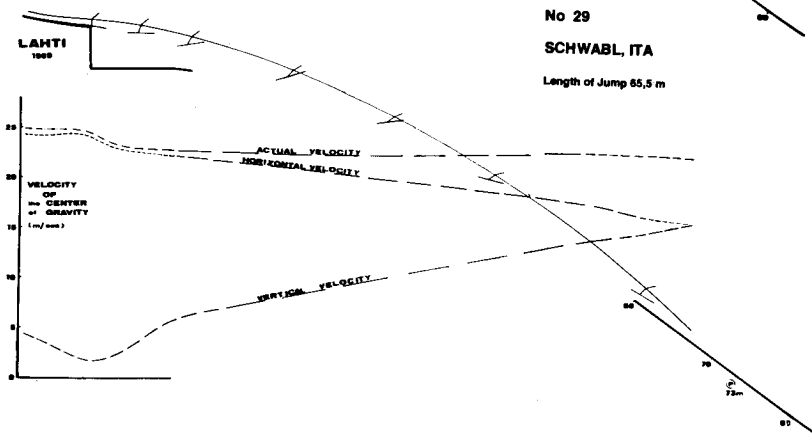
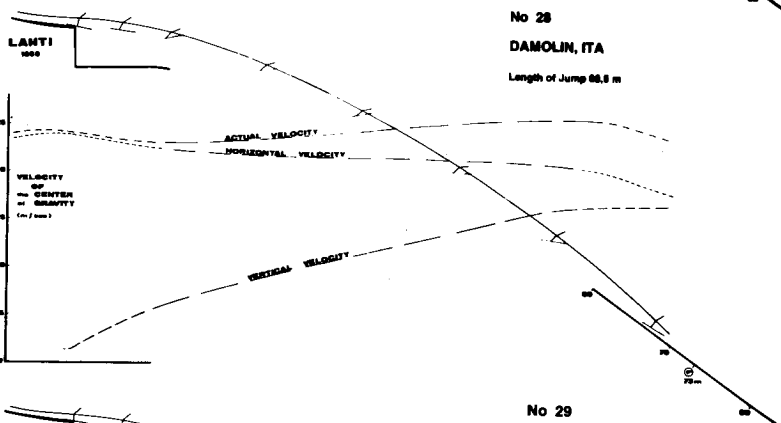
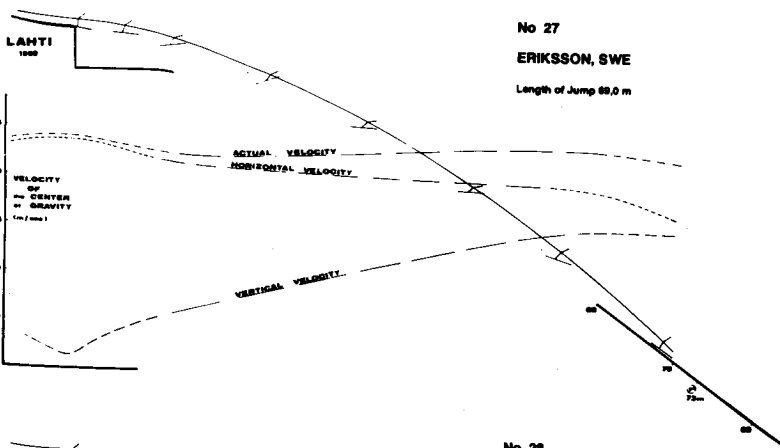


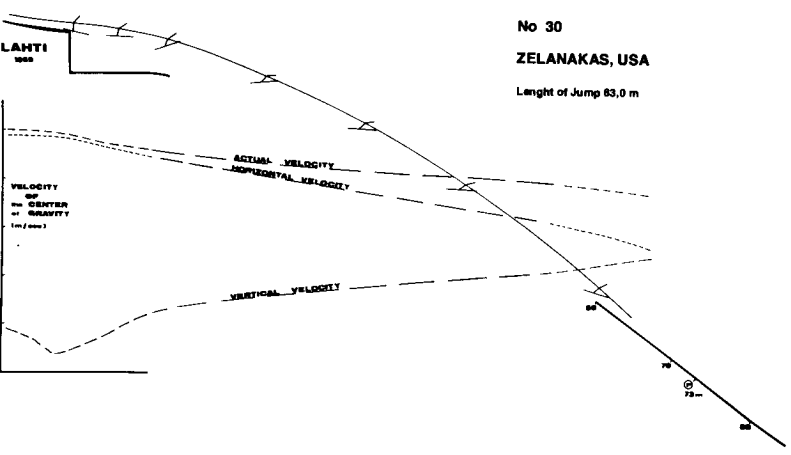












No 30
 ZELANAKAS, USA
 Length of Jump 63,0 m

LAHTI
 1958











VELOCITY
 OF
 CENTER
 OF
 GRAVITY
 (m/sec)

AXIAL VELOCITY
 HORIZONTAL VELOCITY

VERTICAL VELOCITY

75

Appendice B: Angoli particolari e bordo di stacco.

No.	Jump Dist.(m)									
										
1	81.0	148.1	12.9	116.6	141.8	153.4	76.6	89.2	49.0	62.9
2	80.0	125.8	5.0	110.0	150.3	175.9	81.3	90.9	30.5	39.9
3	79.5	135.0	9.5	97.7	139.5	163.4	89.0	96.6	42.3	47.8
4	79.0	150.0	7.8	101.1	133.9	170.7	86.1	92.0	41.1	47.3
5	79.0	113.3	29.7	103.1	150.8	149.3	84.9	89.7	45.5	49.1
6	78.0	111.7	19.8	121.7	150.1	146.5	84.0	90.2	53.9	59.4
7	78.0	130.0	47.6	78.0	120.1	176.6	85.9	95.0	26.2	33.0
8	78.0	129.6	22.4	116.6	139.6	159.3	81.0	88.1	55.0	62.5
9	77.5	180.0	31.8	137.3	151.9	146.5	75.5	85.4	60.8	67.8
10	77.5	113.0	29.7	94.3	150.3	164.3	83.1	89.2	20.3	23.8
11	76.0	96.1	45.3	95.9	143.8	169.0	82.0	90.6	27.0	29.2
12	75.5	127.5	-29.3	70.9	126.2	168.1	91.5	99.2	25.4	33.4
13	75.5	150.0	0.2	100.8	159.8	176.5	91.4	101.1	37.9	44.4
14	75.0	134.2	9.0	103.7	137.0	160.2	79.9	79.4	52.1	63.6
15	74.5	169.4	11.9	92.4	156.5	189.9	84.3	93.1	31.3	33.2
16	74.5	142.4	31.0	121.0	140.9	156.6	72.7	87.9	55.5	52.3
17	74.0	146.0	58.1	98.1	142.1	179.0	84.3	90.3	32.3	40.5
18	73.5	133.6	43.1	99.4	145.9	175.4	86.1	92.8	33.4	32.0
19	73.5	160.6	-4.2	104.0	136.4	146.3	81.0	90.5	34.6	41.7
20	73.5	141.5	28.4	94.5	139.3	167.3	90.6	98.5	34.9	40.4
21	73.5	148.0	16.6	124.6	148.3	127.4	83.8	90.8	59.6	63.8
22	73.0	134.5	26.2	100.7	146.2	174.6	78.3	87.6	35.3	43.2
23	72.5	145.3	20.2	94.7	139.3	166.9	89.5	96.7	29.3	31.6
24	71.0	100.8	-7.1	122.8	156.0	145.5	84.8	92.7	38.6	43.9
25	70.5	145.6	29.0	93.5	143.3	169.2	87.8	95.9	34.0	39.1
26	70.0	141.4	4.6	90.0	125.0	148.5	83.6	100.6	36.2	42.9
27	69.0	148.7	8.1	97.7	160.2	167.3	90.2	96.6	35.7	40.1
28	68.5	110.1	38.5	98.4	136.5	158.2	83.6	91.1	39.8	40.9
29	65.5	107.5	40.6	99.2	145.1	171.9	87.4	98.0	43.5	46.3
30	63.0	104.1	-4.6	67.6	125.5	185.4	93.5	106.1	38.5	41.3
\bar{X}	74.3	134.1	19.4	101.5	138.4	163.6	84.5	92.9	39.3	44.6
S.D.	4.3	20.3	19.2	15.3	16.5	13.8	4.9	5.4	10.6	11.4