

**Zeitschrift:** Gioventù e sport : rivista d'educazione sportiva della Scuola federale di ginnastica e sport Macolin  
**Herausgeber:** Scuola federale di ginnastica e sport Macolin  
**Band:** 35 (1978)  
**Heft:** 12

**Artikel:** La meccanica dello sci alpino  
**Autor:** Schultes, Hermann  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1000655>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

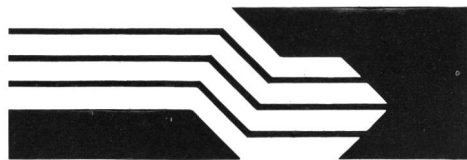
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



## La meccanica dello sci alpino

Hermann Schultes

### 1. Generalità

Presupposto importante per un equo giudizio di tutte le grandezze misurabili di uno sci e delle sue correlazioni di manovrabilità, è una certa comprensione della meccanica dello sci alpino. In questa specialità la successione dei movimenti è estremamente complicata e il suo assieme non è mai stato finora analizzato nei particolari. Lo sci alpino viene oggi esercitato essenzialmente in modo intuitivo, anche se nel campo dell'insegnamento dello sci molti movimenti vengono studiati e formulati sistematicamente.

La difficoltà maggiore nell'analisi delle masse in movimento sciatore+sci è il gran numero di grandezze variabili, il cui esatto rilevamento risulta estremamente difficile, se non addirittura impossibile. A queste grandezze variabili appartiene soprattutto l'uomo e il suo apporto, difficilmente determinabile, alla regolarità della successione dei movimenti nello sci. Un'ulteriore variabile è sicuramente l'attrezzo, soprattutto lo sci, ma anche, in modo non meno importante, lo scarponcino. Le grandezze maggiormente variabili sono comunque le condizioni ambientali, in primo luogo lo stato della pista e in particolare le caratteristiche, fortemente variabili, della neve e del ghiaccio.

Per il costruttore di sci è assolutamente necessario conoscere queste grandezze e il loro grado di variabilità, dato che influenzano nel loro insieme le sue decisioni. Il fabbricante segue pure con molto interesse l'evoluzione internazionale dei metodi d'insegnamento. Questa mostra una certa unificazione nelle successioni dei movimenti di base ciò che rende meglio rilevabile la variabile «sciatore». La tecnica dello sci alpino è sottoposta a continue innovazioni e adattamenti e richiede quindi, da parte dei costruttori in particolare, osservazione intensa e veloci reazioni sulle tendenze che si delineano nello sviluppo di questa disciplina. Mode, come per esempio la forzata «tecnica jet» di alcuni anni fa, oppure autentiche innovazioni, come lo sviluppo dello sci-acrobatico, esigono dall'industria dello sci misure decisive sotto forma di adeguamento dell'attrezzo a queste nuove tecniche. Queste misure potranno avere successo solo se il costruttore di sci, attacchi e scarponi conosce le leggi meccaniche dello sci alpino, le riconosce nelle nuove tecniche e sa adattare le corrispondenti misure nel processo di costruzione. Quanto qui vien detto in merito allo sciatore e al suo modo di sciare, dicasi pure per le condizioni ambientali, cioè sullo stato della pista. Poiché la successione del movimento è molto influenzata dalla qualità della neve o del ghiaccio, questa variabile è particolarmente importante e occorre tenerne conto nello sviluppo e nella valutazione dei modelli di

sci. Per le qualità di scivolata e di manovrabilità di un modello di sci, non è indifferente se questo è destinato alle piste ghiacciate di pessima fama del New England o ai fantastici pendii di neve polverosa dei Rocky Mountains. Vi sono differenze sulle piste di alta montagna e su quelle delle alpi medie, come pure fra coltre nevosa naturale e quella fabbricata artificialmente con moderni macchinari. Poiché occorre considerare la neve quale partner «di frizione» dello sci in movimento, con un eminente influsso sul sistema forza-momento, efficace nella guida della massa sciatore+sci, è sicuramente molto importante tener presente la grande dispersione di questa variabile, in particolare per meglio comprendere le considerazioni che seguono sulla meccanica dello sci alpino. La meccanica dello sci alpino può essere definita come una guida controllata di una massa di sistemi non uniformi in movimento. Le forze o i momenti necessari alla guida del sistema sciatore+sci vengono influenzati dalle resistenze di frizione mutevoli sulla suola dello sci, come pure dallo spostamento del baricentro dello sciatore in tutte le direzioni assiali legate ai movimenti e alle curve.

Come ogni altro sistema, anche quello dello sciatore+sci segue esclusivamente le leggi della fisica ed è quindi, seppur con certe limitazioni, analizzabile secondo le leggi fisiche. Sono essenzialmente forze e momenti a determinare la successione dei movimenti nello sci alpino. La forza di gravitazione muove il corpo dello sciatore in direzione della linea di pendenza. Velocità e direzione vengono controllate tramite voluti cambiamenti della resistenza di frizione fra lo sci e la superficie della pista. Questa resistenza si compone di diversi fattori, soprattutto dallo strato di copertura e dalla compressione della neve, e dalla frizione della superficie di scorrimento della suola dello sci. Poiché questi valori di resistenza variano fortemente e sono molto diversi soprattutto nel senso longitudinale e trasversale dello sci, i momenti reattivi necessari ai cambiamenti di direzione dello sci risultano facilmente controllabili. Per illustrare meglio il procedimento, in realtà relativamente complicato (condizionato dalla situazione in costante cambiamento), vedasi le tavole 1, 2 e 3 pubblicate nelle pagine che seguono. Sulle illustrazioni vengono utilizzati i seguenti termini:

S = baricentro di massa del sistema sciatore+equipaggiamento

G = peso del sistema sciatore+equipaggiamento

$F_z$  = forza centrifuga

$F_o$  = forza risultante

$F_o'$  = forza reattiva risultante

$F_a$  = forza di spostamento sul piano rotatorio

$F_a'$  = risultante componente di forza sul piano ro-

III. 1

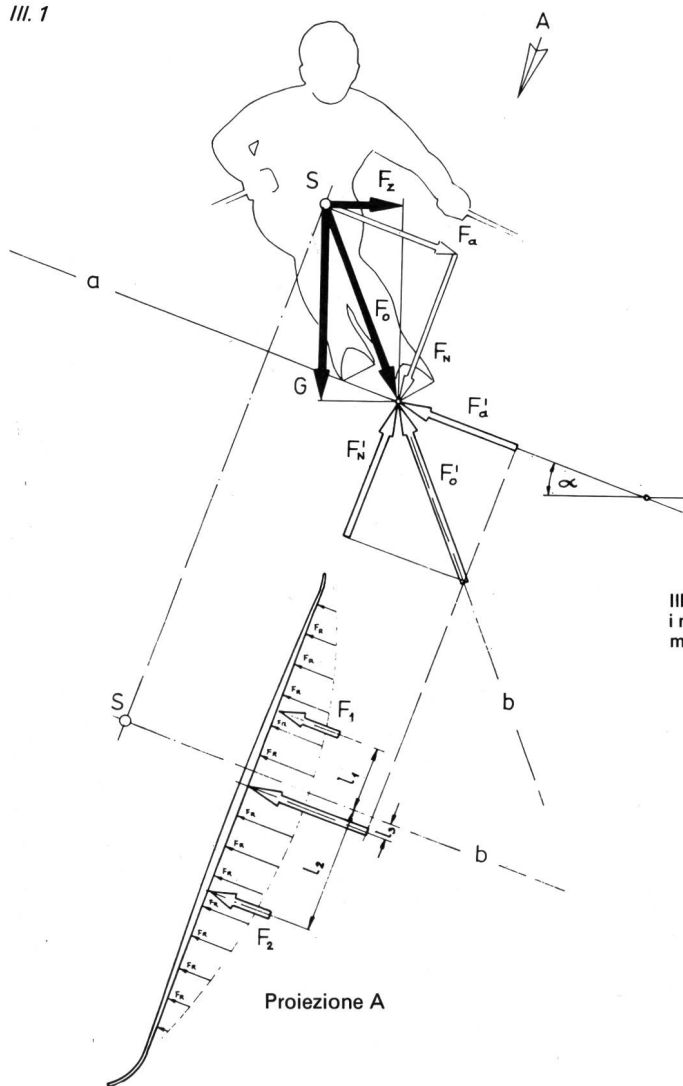
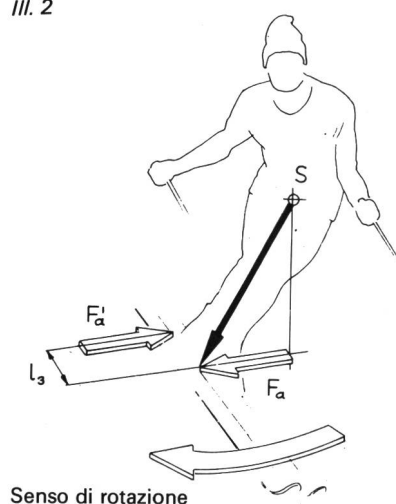


Illustrazione 1:  
il sistema forze e momenti  
durante una curva

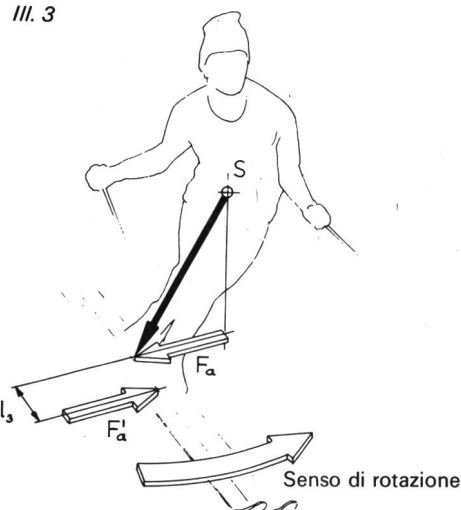
III. 2



Senso di rotazione

Illustrazioni 2 e 3:  
i momenti per la condotta del  
movimento rotatorio

III. 3



Senso di rotazione

tatorio a, composta della somma di tutte le  $F_R$   
 $F_N$  = forza normale, agisce normalmente sul piano rotatorio a  
 $F_N'$  = forza reattiva normale  
 $F_R$  = forze reattive nel piano rotatorio a  
 $F_1$  = forze reattive risultanti dalla somma di tutte le  $F_R$  dietro la linea effettiva b  
 $F_2$  = forze reattive risultanti dalla somma di tutte le  $F_R$  prima della linea d'influenza b  
b = linea d'influenza di  $F_O$   
a = piano rotatorio  
 $\alpha$  = angolo d'inclinazione del pendio  
 $l_1$  = distanza  $F_1$  da b

$l_2$  = distanza  $F_2$  da b  
 $l_3$  = distanza  $F_{a'}$  da b

## 2. Il sistema del momento e delle forze nella rotazione

Osserviamo dapprima le forze e i momenti effettivamente chiamati in causa durante l'esecuzione di una curva. Il gioco delle forze è più comprensibile in questo periodo che non la regolarità dello stacco della curva, che spiegheremo più avanti.

Uno sciatore che si trova in movimento trasmette diverse forze allo sci. Si tratta soprattutto

del suo peso, delle forze centrifughe e delle componenti di forza provenienti dai movimenti verticali del suo corpo. Si può supporre che la forza risultante da queste singole componenti agisca nella regione della suola dello scarpono. La linea d'influenza della risultante forza  $F_O$  va sempre sullo spigolo (o suola) dello sci caricato, la sua localizzazione sull'asse longitudinale è tuttavia variabile. Lo spostamento della linea d'influenza b nell'asse longitudinale (con il trasferimento del baricentro S) è uno dei mezzi più importanti per il controllo e la guida di un movimento rotatorio. Ogni forza si contrappone notoriamente a una

forza di reazione. Questo<sup>1</sup> concerne anche il sistema sciatore+sci, dove la forza  $F_O$  incontra la forza di reazione  $F_{O'}$  prodotta dalla superficie di scorrimento dello sci. La risultante forza di reazione  $F_{O'}$  si può suddividere in due componenti di forza  $F_{N'}$  e  $F_{A'}$ .  $F_{A'}$  può pure essere definita come una somma di singole forze che, seguendo una determinata curva, agiscono suddividendosi sulla lunghezza dello sci. La forma di questa curva è determinata dalla ripartizione della rigidità (caratteristiche di elasticità) dello sci. Fra la media rigidità rispettivamente la ripartizione della rigidità sullo sci e il suo comportamento di rotazione esiste una stretta relazione. Le forze di reazione  $F_R$  operanti lungo la superficie di scorrimento (o sugli spigoli) possono essere riassunte anche nelle risultanti forze reattive. Nell'illustrazione 1, le forze reattive dietro la linea b sono state unite in una risultante forza reattiva  $F_1$  e le forze reattive davanti alla linea d'influenza b in una risultante forza reattiva  $F_2$ . Secondo le leggi della meccanica, la presente situazione ci porta alle seguenti considerazioni:

- se il momento  $F_2 \cdot l_2$  è più grande del momento  $F_1 \cdot l_1$ , allora lo sci curva con la punta a monte. Nell'illustrazione 1 nel senso delle lancette dell'orologio
- se il momento  $F_1 \cdot l_1$  è più grande del momento  $F_2 \cdot l_2$ , lo sci curva allora con la punta rivolta a valle. Nell'illustrazione 1 nel senso contrario delle lancette dell'orologio
- se ambedue i momenti sono di ugual grandezza ( $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ ), allora non ci sarà rotazione. Il movimento è dunque in linea retta, dove però sono possibili tutte le varianti dalla discesa in diagonale allo slittamento laterale
- se  $F_{A'}$  è più piccolo di  $F_A$ , avviene allora un movimento laterale dello sci. Più grande è la differenza fra  $F_{A'}$  e  $F_A$  maggiore sarà la porzione di movimento laterale. Questa situazione si produce nello slittamento laterale e nelle curve con fase di slittamento pronunciata
- se  $F_{A'}$  è identico o quasi a  $F_A$ , il movimento laterale è allora molto ristretto. Questa situazione si produce nelle curve tagliate.

Nelle illustrazioni 2 e 3, il momento rotatorio necessario durante la curva dello sci viene rappresentato in forma semplificata. Si può rappresentare  $F_1 + F_2$  anche come un'unica forza reattiva risultante  $F_{A'}$  che agisce su un punto della superficie di scorrimento (o sugli spigoli). Questo punto d'azione può trovarsi nella linea d'influenza b non permettendo di conseguenza alcun momento rotatorio e quindi nessuna curva. Il sistema è meccanicamente «indifferente». Qualora  $F_{A'}$  agisse davanti o dietro la linea d'influenza b, si produce allora il momento rotatorio  $F_{A'} \cdot l_3$  che fa girare lo sci a monte o a valle.

Il sistema è meccanicamente «instabile».

Presentato in questo modo sembra che il sistema di momento agente sulla condotta di una rotazione sia relativamente semplice. In realtà è assai complicato data la larga dispersione di grandezze d'influsso variabili.

Una rotazione viene condotta tramite il controllo dei momenti agenti attorno alla linea d'influenza b. Queste subiscono variazioni tramite il cambiamento delle forze oppure tramite il cambiamento delle distanze fra le forze.

- cambiamento della grandezza delle forze:  
la grandezza della risultante forza  $F_O$  può essere controllata dallo sciatore con i movimenti di carico e di scarico. La grandezza delle forze reattive dipende dalla resistenza della neve, è però controllata dallo sciatore tramite variazione dell'angolo dello spigolo. Dato che si tratta di forze reattive attorno alle forze d'attacco, che agiscono contro la superficie di scorrimento o gli spigoli, per il controllo delle forze reattive è di grande importanza lo stato di queste due parti dello sci, da qui l'importanza dei criteri qualitativi per lo sci alpino. Questi criteri assumono importanza ancor maggiore su piste con resistenza della neve molto variata e imprevedibile (ghiaccio, neve marcia). Su piste con poca e costante resistenza della neve (granulata, polverosa), la condotta dello sci risulta senza eccessivi problemi, anche senza nozioni tecniche avanzatissime. La grandezza delle forze reattive può essere inoltre influenzata o addirittura sfuggire al controllo tramite indesiderabili vibrazioni dello sci. Questo avviene in particolare su piste dure dove le inaspettate vibrazioni provocano una perdita del contatto degli spigoli e di conseguenza un disturbo delle forze reattive – equilibrio.
- cambiamento delle distanze fra le forze:  
parte importante di tutti i movimenti dello sci è il trasferimento del baricentro (e quindi della linea d'influenza b) sull'asse longitudinale dello sci. Spostamento controllato del baricentro per il mantenimento dell'equilibrio e per la condotta delle curve è criterio essenziale dello sci alpino. Questo trasferimento del baricentro avviene inconsciamente in tutti gli sciatori e viene quindi vissuto in modo inconsapevole a livello d'intelletto. È quindi completamente sbagliato parlare di un costante punto d'applicazione del carico sullo sci e porre in relazione diretta questo luogo ad altri punti come per esempio il punto di montaggio degli attacchi o il restringimento dello sci. Il punto d'applicazione del carico varia su un vasto settore. Tramite queste variazioni vengono mutate le distanze fra le forze e i momenti efficaci nella condotta della

rotazione.

In questo sistema di forze ha pure un certo peso anche la lunghezza dello sci. Più lo sci è lungo, più grandi saranno (in condizioni identiche) le distanze  $l_1$  e  $l_2$  e di conseguenza anche i momenti necessari per una rotazione. Nella neve pesante gli sci lunghi sono dunque più difficili da curvare che non gli sci corti.

### 3. Il sistema forza – momento nello stacco di una curva

Le forze citate nel capitolo precedente, che agiscono sulla suola dello sci e provocano momenti rotatori, possono formarsi solo se la superficie di scorrimento si muove contro un «medium» che crea resistenza. Con altre parole questo significa che un movimento trasversale dello sci con leggera presa degli spigoli per il cambiamento di direzione, è presupposto per questo genere di «forze d'ingresso». Nelle diritture, quando direzione di movimento e linea mediana degli sci sono identici, alla superficie di scorrimento non non c'è nessuna forza che conduca alla formazione di momenti rotatori. Un cambiamento di direzione partendo dalla linea retta deve quindi essere introdotto tramite altre forze.

Di regola ci sono due sussidi per generare un impulso rotatorio nel sistema sciatore+sci in movimento assiale su traccia diritta:

lo stacco dell'impulso rotatorio avviene tramite il movimento del corpo dello sciatore – si parla allora di mezzi dinamici – impulsi rotatori possono però anche provenire tramite lo sci – in questo caso si parla di mezzi statici.

Normalmente, ambedue i mezzi vengono impegnati simultaneamente. Il perfezionamento delle tecniche di curva e i modelli d'alta prestazione nello sci hanno chiaramente mostrato, negli ultimi anni, come sia necessaria una chiara definizione del raggio d'azione dei mezzi meccanici e la loro limitazione per quanto concerne il campo dei mezzi dinamici.

Le illustrazioni 4 e 5 permettono una migliore comprensione del problema.

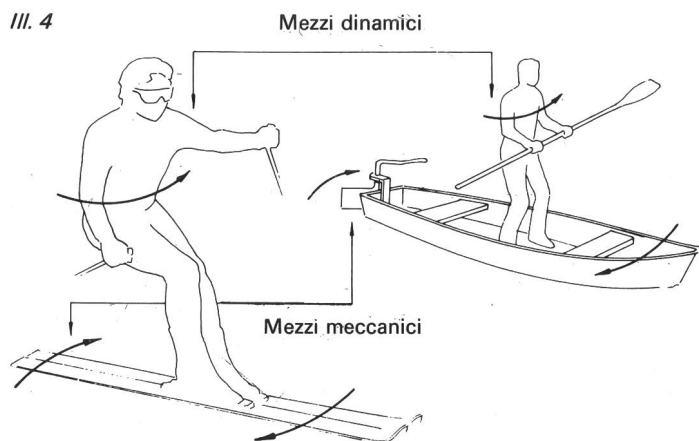
Nell'illustrazione 4 vien presentato uno sciatore impegnato su una dirittura. Per iniziare una rotazione partendo da questa situazione, deve creare un momento rotatorio ricorrendo a mezzi dinamici oppure statici o anche ad ambedue simultaneamente.

Sono mezzi dinamici:

anticipo, contro-rotazione, abbassamento e pressione rotatoria dei talloni. I mezzi meccanici sono in primo luogo le caratteristiche della geometria laterale dello sci necessarie allo stacco della curva.

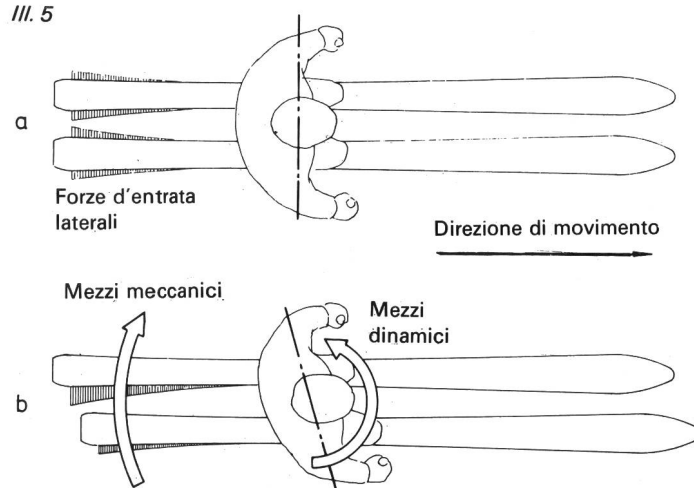
I mezzi dinamici per lo stacco della curva, anti-

III. 4



III. 4 e 5: metodi dello stacco di curva

III. 5



cipo, contro-rotazione, abbassamento e pressione rotatoria dei talloni costituiscono importanti componenti di tutti i manuali nazionali d'insegnamento dello sci e non occorre quindi illustrarli. Poiché questi manuali sono stati scritti soprattutto in un'ottica pedagogica, vogliamo qui analizzare i mezzi dinamici per lo stacco della curva dal punto di vista della loro meccanica.

Anticipo vien definito come una rotazione anticipata del bacino e del tronco nel senso dell'imminente cambiamento di direzione. Nella parte superiore del corpo viene quindi accumulata energia potenziale che sarà utilizzata in seguito per creare un momento rotatorio sullo sci. Questo momento viene reso effettivo con una contro-rotazione. Si sottintende qui un'attiva rotazione delle gambe opposta alla rotazione del tronco.

Per capire meglio questo effetto dinamico dell'anticipo e della contro-rotazione, l'illustrazione 4 mostra quest'effetto sulla base di un esempio facilmente comprensibile: un uomo su una barca. Quando l'uomo, che si trova in piedi sulla barca, gira in modo rapido e con vigore la parte superiore del corpo nel senso delle lancette dell'orologio, la barca girerà nel senso opposto. Il fisico spiega questo comportamento con la «costanza dell'impulso rotatorio di un sistema libero». Detto più semplicemente ciò significa che l'azione dell'uomo provoca una reazione della barca oppure, con altre parole, il movimento dell'uomo determina un movimento opposto dell'imbarcazione.

La stessa cosa succede anche nel sistema sciatore+sci. Il movimento rotatorio delle spalle causa una rotazione opposta dello sci.

Poiché il momento rotatorio trasmesso agli sci dalla rotazione del tronco su certi tipi di neve

risulta insufficiente per superare la resistenza della neve, si farà ricorso all'abbassamento e alla pressione rotativa dei talloni, quali ulteriori sussidi dinamici, per lo stacco di questo tipo di curva. L'abbassamento riduce la resistenza rotatoria e la pressione rotativa dei talloni aumenta il momento rotatorio.

Se i mezzi dinamici portano a tipi di curve con fase di slittamento accentuata, per lo stacco di curve tagliate l'impegno dei mezzi meccanici assume una particolare importanza. Con mezzi meccanici s'intende il contributo dato dallo sci e in particolare dalla sua forma geometrica allo stacco della curva.

Cosa si sottintende è illustrato nella fig. 5. L'immagine in alto (a) mostra uno sciatore impegnato su una dirittura. Direzione di movimento e linea mediana degli sci sono identici. Gli sci sono appoggiati piatti e caricati in ugual misura. In questo modo di sciare, a causa dell'allargamento dello sci fra gli attacchi e la coda, lateralmente allo sci si formano forze d'entrata che sono da attribuire al fatto che, data la coda cuneiforme dello sci, devono spostare la neve lateralmente. La grandezza di queste forze d'entrata variano a seconda dello stato della neve. È ristretta sul ghiaccio ed è grande con neve ad alta resistenza di sgombero. Nel modo di sciare illustrato sulla figura 5a, queste forze laterali sono identiche da ambedue le parti dello sci. Sulle diritture, queste forze derivate dalla forma laterale dello sci hanno un importante compito di stabilizzazione, poiché una deviazione involontaria della linea mediana degli sci dalla direzione di movimento crea immediatamente in coda un momento rotatorio di correzione.

L'illustrazione 5b mostra il cambiamento delle forze d'entrata laterali in seguito al trasferimento del carico sullo spigolo destro, in particolare su

quello (sinistro) a valle. Poiché la presa accentuata sullo spigolo destro solleva il sinistro dalla superficie, da questo lato le forze d'entrata vengono completamente annullate. Sul lato destro, per contro, la maggior forza di pressione fa aumentare le forze d'entrata laterali. Questa instabilità causata dalle forze d'entrata provoca un momento rotatorio che fa girare lo sci nel senso delle lancette dell'orologio. Negli sci con una geometria laterale che tien conto di questo effetto allo stacco di una curva, si possono iniziare curve tagliate tramite presa degli spigoli, rinunciando parzialmente all'impegno dei mezzi dinamici disponibili.

Gli effetti della geometria laterale sullo stacco di una curva possono essere spiegati in modo più semplice ricorrendo all'esempio della barca. Nell'imbarcazione è il timone ad assumere una analoga funzione di guida e di stabilizzazione, come la forma laterale dello sci nella sua parte finale. In ambedue i casi sono le forze d'entrata, che causano un momento di rotazione, ad essere utilizzate per un cambiamento di direzione. E in ambedue i casi l'effetto dipende dalla velocità di corsa. È più grande ad alta velocità ed inesistente se la corsa è lenta. Si spiega così perché i mezzi dinamici sono indispensabili nella corsa lenta mentre che i mezzi meccanici acquistano importanza con l'alta velocità.

#### 4. Il sistema delle forze nelle diritture

Uno studio sulla meccanica dello sci alpino sarebbe incompleto senza alcune annotazioni sulle forze subentranti nelle discese in dirittura. Il sistema di forze presentato nel capitolo precedente è di grande interesse generale poiché costituisce un elemento essenziale non solo per la competizione, bensì anche per lo sci da

diporto. Le forze che si presentano nello sciare in dirittura sono di poco interesse per il comune sciatore; sono però nozioni di grande importanza nella preparazione scientifica delle gare di discesa.

Anche se nella discesa vengono soprattutto richiesti coraggio e condizione fisica del corridore, proprio in questa specialità hanno un'importante funzione i problemi d'equipaggiamento e le analisi scientifiche dei risultati di test. I membri dei quadri di discesa delle nazioni che vanno per la maggiore, all'inizio della stagione sono spesso ospiti degli istituti tecnico-fisici delle università allo scopo di verificare, sulla base delle ultime cognizioni, il loro equipaggiamento o il loro portamento fisico. Test scientifici di sci da discesa sono alquanto complicati e necessitano un grosso impiego di apparecchi tecnici. Esulerebbe dal quadro di questo trattato voler parlare di influssi nello «scorrimento» e nello «schuss» e analizzarli nei minimi particolari. È però assolutamente necessario per capire la meccanica dello sci conoscere le forze sub-

entranti nella discesa diritta e dei suoi influssi sull'accelerazione o velocità.

Osserviamo dapprima, ancora una volta, l'illustrazione 5a che mostra lo sciatore impegnato in una dirittura. Ricordiamo che in questa situazione nella parte posteriore degli sci subentrano forze d'entrata laterali, le quali sono equilibrate con lo sci appoggiato piatto e che hanno un'importante effetto di stabilizzazione. La grandezza di queste forze laterali e le conseguenti componenti che agiscono sulla longitudinale dello sci, è in funzione della velocità. Queste componenti agenti sulla direzione di movimento si contrappongono alla forza di accelerazione e limitano quindi la velocità. Definiamo queste componenti come resistenza spazzaneve della coda degli sci. Una delle caratteristiche più importanti dello sci da discesa è la sua geometria laterale, costruita in modo da fornire un sufficiente effetto di stabilizzazione limitando però la presenza della resistenza spazzaneve.

Le forze agenti, in discesa diritta, nelle altre zone assiali vengono presentate nell'illustrazione 6:

1. Il peso  $G$  del sistema sciatore+sci agisce nel baricentro  $S$  del sistema. Inclinazione del pendio e peso  $G$  determinano la grandezza della forza d'accelerazione  $F_B$ . Un elevato peso di sciatore ed equipaggiamento è, nelle gare di discesa, un fattore che favorisce la velocità.

2. La forza normale  $F_N$  è la componente agente in angolo retto sulla direzione di movimento. Con un costante  $G$ , la sua grandezza viene determinata dall'angolo d'inclinazione  $\alpha$ .

La formulazione matematica è:

$$F_N = G \cdot \cos \alpha$$

$F_N$  è ristretto su grosse pendenze e grande sul terreno piano. Dato che la resistenza d'attrito della superficie di scorrimento è una funzione di  $F_N$  si può dedurre che questa resistenza diminuisce con l'aumento dell'angolo d'inclinazione del pendio.

3. La forza d'accelerazione  $F_B$  è la componente di  $G$  agente nella direzione di movimento. La formulazione matematica è:

$$F_B = G \cdot \sin \alpha$$

Con un costante  $G$ , la grandezza della forza d'accelerazione è determinata dall'angolo di pendenza  $\alpha$ .  $F_B$  aumenta con un aumento dell'inclinazione.

4. La resistenza dell'aria  $F_L$  si contrappone alla forza d'accelerazione. La formula matematica per la resistenza dell'aria è:

$$F_L = \frac{c p A v^2}{2}$$

Significati:

$c$  = coefficiente medio di resistenza dell'aria di sciatore+sci

$p$  = densità dell'aria

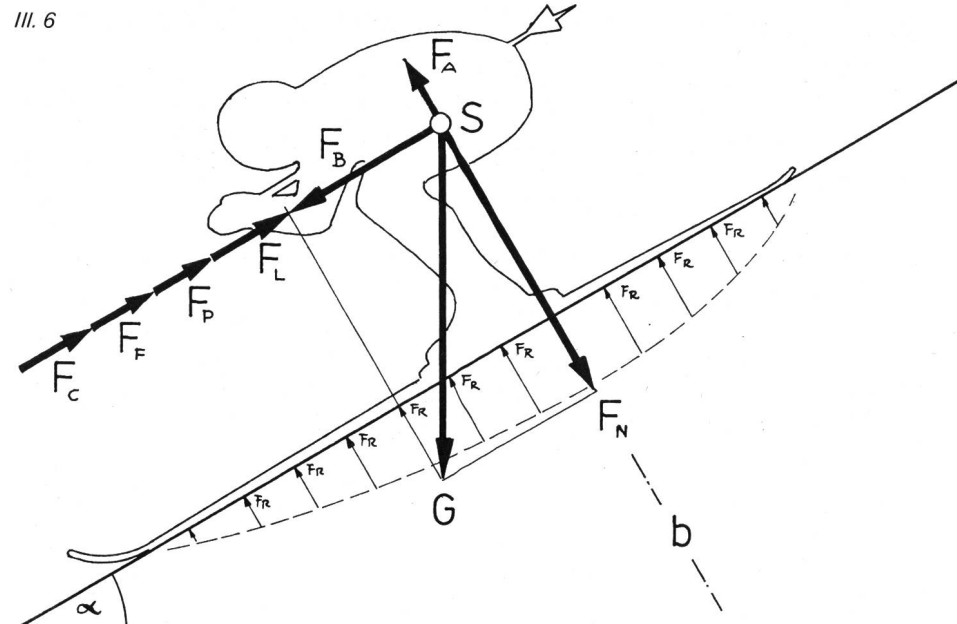
$A$  = superficie d'ombra di sciatore+equipaggiamento (proiettata in direzione del movimento)

$v$  = velocità

Da questa formula si può dedurre:

a) un piccolo coefficiente di resistenza dell'aria diminuisce la resistenza dell'aria. Tuta liscia e giusta posizione aerodinamica costituiscono un fattore vantaggioso nelle gare di discesa.

b) la densità dell'aria influenza la resistenza dell'aria, non può però essere influenzata dallo sciatore. La densità dell'aria, per esempio nei tentativi di primati di velocità (kilometro lanciato), assume però un certo ruolo, come mostra la tabella seguente:



III. 6: il sistema delle forze nella discesa retta

$\alpha$  = angolo d'inclinazione del pendio

$S$  = baricentro di massa del sistema sciatore+sci

$b$  = linea d'influenza della forza normale

$G$  = peso del sistema sciatore+sci

$F_N$  = forza normale

$F_B$  = forza d'accelerazione (presa di forza dell'inclinazione)

$F_L$  = resistenza dell'aria

$F_P$  = resistenza spazzaneve della coda degli sci

$F_F$  = resistenza attrito della scivolata

$F_C$  = resistenza compressione della neve

$F_A$  = forza di spinta

$F_R$  = forze reattive della suola dello sci

Altitudine s/m, metri	0	500	1000	2000	3000	3500
rapporto densità dell'aria $P/p_0$	1.0 ( $p_0$ )	0.95	0.90	0.81	0.73	0.69



Da questa tabella possiamo leggere che la resistenza dell'aria alle prove del KL di Cervinia, che si svolgono a un'altitudine di 3500 m, è minore del 30 per cento rispetto a una gara che si svolga al livello del mare.

c) la superficie d'ombra ha un influsso determinante sulla resistenza dell'aria. In una discesa di coppa del mondo hanno maggiori possibilità d'affermazione quei corridori che riescono a mantenersi a lungo in posizione raggruppata profonda, riducendo così al minimo la propria superficie d'ombra.

d) la resistenza dell'aria aumenta con il quadrato della velocità. Ciò significa che a grande velocità la resistenza dell'aria aumenta d'importanza più delle altre componenti quali resistenza d'attrito o resistenza di compressione della neve.

5. La resistenza spazzaneve dello sci  $F_p$  è stata già descritta. La sua grandezza dipende dalla forma laterale dello sci, dallo stato della neve e dalla velocità.

6. La resistenza attrito della scivolata  $F_f$  viene formulata matematicamente con

$$F_f = \mu_k (F_N - F_A)$$

$\mu_k$  è il coefficiente medio d'attrito di scivolata della suola dello sci. Di tutti i parametri fisici dello sci, il coefficiente d'attrito è senz'altro il valore più difficile da determinare. Nonostante si disponga di interessanti studi in merito, anche nello sport competitivo non si è finora riusciti a chiarire inequivocabilmente il problema sul coefficiente d'attrito fra la superficie di scorrimento e la neve. Motivo principale è la larga fascia di variazioni della componente neve. Lo scivolare dello sci sulla neve non è un fenomeno semplice come lo stesso processo fra metalli o prodotti sintetici. La scivolata dello sci sulla neve è fisicamente molto complicata e non ancora completamente indagata fino a oggi per essere di rilievo nello sci competitivo; esistono comunque degli studi abbastanza approfonditi.

Parecchio difficile da esaminare è il meccanismo d'attrito con la lubrificazione idromeccanica che dipende dalla temperatura e dal contenuto di acqua della neve; questo significa che la cifra d'attrito  $\mu_k$  varia molto con la qualità della neve e la velocità. Complica inoltre il fatto che la cifra d'attrito  $\mu_k$  può essere positivamente influenzata dai processi di vibrazione nello sci.

7. La resistenza compressione della neve  $F_C$  è la componente di forza che dev'essere utilizzata per comprimere la neve all'interno della traccia. Sul ghiaccio questo valore è naturalmente nullo, d'importanza, a certe condizioni, nella neve marcia. Il fabbricante di sci cerca con forme adeguate della spatola e con sufficiente flessibilità della parte anteriore dello sci, di mantenere il



più ristretto possibile il valore  $F_C$ . Questo si trova in relazione con:

8. La curva di ripartizione delle forze reattive  $F_R$ . Questa curva descrive la grandezza della pressione sulla superficie di scorrimento dello sci posato piatto. In dirittura è:

$$\Sigma F_R = F_N - F_A$$

Nelle discese non rettilinee questa pressione è sottoposta a continui cambiamenti provocati dalle forze centrifughe e dal trasferimento del carico sugli sci. La curva di pressione viene determinata dalla posizione della linea d'influenza  $b$  della forza normale, dalla grandezza della forza normale e dalla ripartizione della rigidità dello sci.

9. La forza di spinta  $F_A$  può comparire in determinate posizioni aerodinamiche ed è per questo

che vien tenuta in considerazione in questo elenco di forze.

Con l'aiuto delle forze sopracitate e di equazioni, si può rappresentare la velocità massima  $v$  di uno sciatore ricorrendo alla formula seguente:

$$v = \sqrt{2 \frac{(G \sin \alpha) - \mu_k (G \cos \alpha - F_A) - F_p - F_c}{cA\rho}}$$

Per raggiungere elevate velocità nello sci competitivo, occorre ricercare con quali misure è possibile influenzare in senso positivo le grandezze citate nella formula. Sono misure che concernono il fabbricante di sci (linea elastica, forma laterale, coefficiente d'attrito, vibrazioni), come pure misure che possono essere adottate dallo sciatore (superficie d'ombra, coefficiente resistenza dell'aria).