

Sciare

DOCUMENTI TECNICI

UNO STUDIO DELLA LAMBORGHINI S.p.A.

Questo è il primo studio approfondito sul comportamento degli sci sottoposti alle sollecitazioni dello sciatore che venga pubblicato in Italia. L'autore è l'ingegner Edgardo Ciani, il nuovo direttore tecnico della Lamborghini. La famosa industria di Tolmezzo è stata ceduta da Giacomo Linussio al Gruppo Snaldero. Roberto Snaldero, figlio del commendator Rino Snaldero, ne è divenuto l'amministratore delegato. Il Direttore Generale è Tino Cazzaniga che ha presieduto sino ad oggi, presso la FISL, la Commissione Tecnica dello sci giovanile per le prove alpine. L'ex discesista azzurro Ivo Mahlknecht che sino all'anno scorso ha allenato la Nazionale Giovanile è stato assunto dalla Lamborghini S.p.A. come consulente tecnico. La nuova linea della Casa di Tolmezzo sarà presentata al Mias di marzo. L'ingegner Edgardo Ciani che ha una pluriennale esperienza nel settore specifico, in questo studio compie una minuziosa indagine, un'analisi scientifica di ogni gesto che lo sci esegue sulla neve rispondendo ai comandi dello sciatore. Attraverso la lettura di « Meccanica dello sci sulla neve » lo sciatore incontra lo sci in una dimensione nuova che non è più quella di un attrezzo, scopre un personaggio: un personaggio vivo, senza segreti.

MECCANICA DELLO SCI SULLA NEVE

A CURA DELL'INGEGNER EDGARDO CIANI DIRETTORE
TECNICO DELLA LAMBORGHINI S.p.A.

PREMESSA

Lo sci è un attrezzo meraviglioso. Guardiamo una curva a parallelo: come può uno sci diritto seguire una traiettoria curva, anche con raggio minore alla sua lunghezza? Siamo in presenza di proprietà non comuni: logico il desiderio di spiegarle anche perché le ottime analisi sinora note considerano principalmente quali posizioni ottimali deve successivamente assumere lo sciatore per ottenere determinate evoluzioni, trascurando il funzionamento degli sci. Nella presente nota si tenta di analizzare proprio il modo di funzionare dello sci come meccanismo, trascurando invece il comporta-

mento dello sciatore e cioè presupponendolo già addestrato. È probabile, trattandosi di un primo tentativo, che siano necessarie delle correzioni. E anche necessario esaminare contemporaneamente « sciatore + scarpe + attacchi + sci + neve »; ciò sarà possibile solo con la collaborazione di molti specialisti. L'autore ha utilizzato gli scritti di altri, fra cui è doveroso ricordare e ringraziare Kruckenhauer, Salvo, Joubert, Vuarnet, Pfeiffer, i Cotelli, Robic, e molti altri. Senza il loro contributo questo lavoro sarebbe impossibile. È logico infine ringraziare chi vorrà criticare questa nota, perché solo in tal modo sarà possibile perfezionare questa appassionante attività.

1. Per analizzare lo sci alpino è bene restare attaccati alla realtà con il minimo di semplificazioni, al fine di ridurre gli errori.

1.1. Schema di un percorso standard. Lo schema alla figura 1 rappresenta in pianta (cioè vista da sopra) la traiettoria di uno sciatore, divisa nei 3 fenomeni fondamentali:

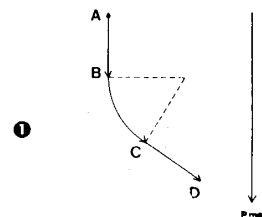
I. A-B è un tratto di discesa in P_{max} (pendenza massima);

II. B-C è una curva con raggio costante;

III. C-D è un tratto in diagonale.

Inanellando curve, diagonali e tratti in massima pendenza si

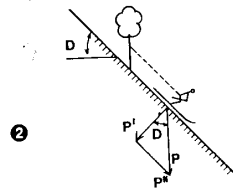
può schematizzare qualsiasi percorso: quindi i 3 tipi sono sufficienti.



2. Discesa in massima pendenza

2.1. **Sciatore fermo** - Posto lo sciatore come in figura 2 impediamogli di scivolare avanti trattenendolo in un modo qualsiasi

creando una traccia plana su (ad esempio con una corda legata a un albero!). Qual è la condizione di carico? Il peso delle varie parti del corpo viene trasmesso ai piedi, via scheletro + muscoli; dai piedi agli sci; da questi alla neve. Ma poiché la neve è in pendenza, il peso dello sciatore si scompone in $P' =$ forza che schiaccia la neve, e $P'' =$ forza propulsiva.



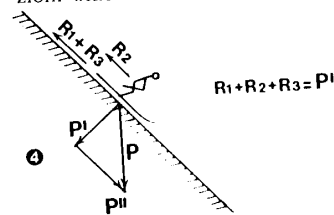
Bisogna notare che P'' è nel contatto sci-neve: quindi agisce circa al livello suola sci (ed è parallela al pendio). Se chiamiamo D l'angolo di inclinazione del pendio, avremo: $P'' = P \sin D$. Il valore di P'' per uno sciatore equipaggiato del peso di 80 kg sarà il seguente, variabile a seconda dell'inclinazione del pendio:

Inclinazione D°	$\cos D$	P'' kg
zero gradi	zero	zero
10°	0,174	14
30°	0,5	40
45°	0,7	56

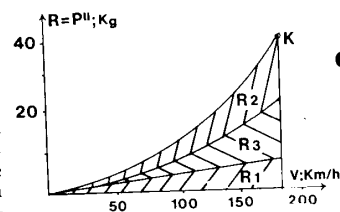
Questo per aver idea delle forze in gioco: si tratta di decine di kg. Confronto: FJ circa 10 kg; aliante (Kestrel) circa 10 kg; Fiat 124 a 80/h: 150 ÷ 180 kg in piano.

2.2. Sciatore in moto - Sempre tenendo presente la figura 2, tagliamo il mezzo usato prima per tener fermo lo sciatore (tagliamo la corda!). Lo sciatore partirà da V (velocità) = zero, ed aumenterà sino a raggiungere quella certa velocità a cui la P'' sarà equilibrata dalle resistenze R che sono:
1) attrito sci-neve: che pare sia

lievi curve verso valle il ciclo sta R_1 è al livello sci-neve;
2) R_2 resistenza aerodinamica; proporzionale a V^2 (velocità al quadrato) e naturalmente dipendente dalla superficie e forma dello sciatore, oltre che dalla densità dell'aria; questa R_2 possiamo concentrarla nel centro della figura dello sciatore, e cioè a livello ombelico;
3) R_3 forza necessaria per poter schiacciare la neve con le punte degli sci per creare la traccia su cui scorre il corpo dello sci stesso: proporzionale a V^2 (velocità al quadrato) oltre che allo spessore dello schiacciamento (profondità della traccia lasciata). Questa R_3 è a livello sci-neve. A questa V = costante (figura 4): saremo in condizioni stabili alla velocità V .

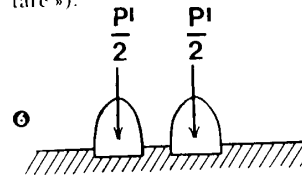


Per avere un'idea del valore delle resistenze, si può schizzare il diagramma 5, che è solo qualitativo perché l'unico dato valido è il punto K, ottenuto considerando le prove sul Kilometro Lanciato di Cervinia dove, con pendenza di 30° circa, persone di circa 80 kg che avevano quindi $R = P'' = 40$ kg hanno ottenuto circa 180 km/h (che identifichiamo nel punto K). Si può abbozzare l'andamento nella figura 5: notando però che



nel caso del KL le velocità massime sono state ottenute con pista dura, quindi R_1 minore di

quanto indica il diagramma. Comunque qui non interessano dati esatti, che però servirebbero per ottenere più alte velocità. Osservazioni: a) se abbiamo forza propulsiva P'' solo quando gli sci toccano la neve, per ottenere la velocità massima bisogna tenere gli sci in contatto con la neve; b) però la forza propulsiva dipende anche dalla pendenza del pendio: quindi, se c'è un tratto orizzontale la P'' è zero, è inutile mantenere il contatto. (Forse è meglio « saltare » per diminuire l'attrito?); c) se c'è una contropendenza si ha P'' negativa, ossia una forza frenante: conviene evitare il contatto sci-neve (« saltare »).



2.3. Condizioni degli sci - Gli sci saranno di piatto, caricati ugualmente. In vista di fronte (figura 6), si vedrà che essi incidono un poco la neve. Ognuno di essi sarà caricato perpendicolarmente alla superficie inferiore con $\frac{P''}{2}$. Uguali e contraria

sarà la reazione della neve. Il carico si ripartirà su tutta la superficie inferiore dello sci stesso; la pressione specifica è la minore possibile, quindi sprofondamento minimo; la superficie inferiore sarà quasi piana (uno sci buono ha una flessibilità tale da diventare circa piana in queste condizioni). Come ordine di grandezza la pressione specifica sulla neve sarà circa 25 grammi per centimetro quadrato.

Vediamo ora gli sci in pianta (figura 7). Il disegno è fuori scala per renderlo più chiaro. Naturalmente consideriamo le dimensioni della suola, che è la parte che agisce sulla neve. Noteremo la larghezza massima in

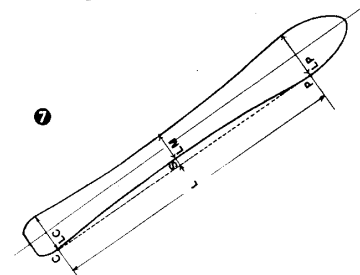
punta = LP e la minima circa in mezzo = LM. In coda la larghezza massima sarà LC. Se tracciamo una retta per P e C (punta e coda), potremo misurare S = centina laterale (side camber, Seiten - spannung). È più comodo però misurare le tre larghezze, e calcolare:

$$S = \frac{\frac{LP + LC}{2} - LM}{2}$$

Possiamo anche definire $L = P - C$, come lunghezza della parte che appoggia (su neve dura). Risulta come già noto che lo spigolo inferiore segue una curva, che in prima approssimazione possiamo supporre sia un cerchio. In tal caso il suo raggio vale:

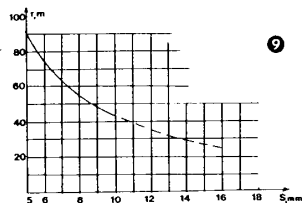
$$r = \sqrt{\frac{L^4}{64 S^2}}$$

con approssimazione al 2 %.



Ad esempio, per uno sci lungo 2,10 m si ha circa $L = 1,9$ m: e per vari S (come misurabili in pratica) si ottengono i dati della tabella 8. O, se preferite, il più completo diagramma 9.

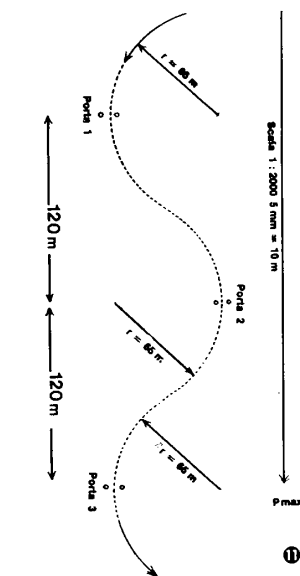
Lunghezza m	S (centina) mm	raggio di curva m
1,9	5	90
1,9	6	75
1,9	7	64
1,9	8	56



Questo diagramma è comodo perché semplifica il calcolo del raggio di curva. Considerando questa curvatura laterale dello sci, risulta evidente che, tenendo lo sci di piatto esso potrà andar dritto, ma che basterà una piccola presa di spigolo perché una lamina incida nella neve più dell'altra (figura 10) e allora questa lamina inciderà nella neve secondo il suo raggio (r), e farà curvare lo sci.



Si può controllare questo fenomeno più facilmente sullo skilift: basta una lievissima presa di spigolo per cambiar rotta. Notare che con uno sci avente $S=7$ (ad esempio Lamborghini Competition) si possono fare curve con raggio di 65 metri, già sufficienti per un percorso come in figura 11, che può essere una D reale. Da notare anche che, se lo sci scivola lungo una traccia avente raggio uguale a quello della lamina, si rende minima la quantità di neve spostata: quindi si riduce la resistenza e si ha la massima velocità sulla traiettoria. Può darsi però che un'altra traiettoria consenta minor tempo totale: inoltre in curve sul tipo di quella esaminata nella figura 11 nascono altre forze da esaminare.



2.4. Come prima conclusione si può dire che, limitandosi a prese di spigolo piccole (2° - 3° - 4°), si può già variare la rotta, sia pur lentamente. Osservazione spontanea è che nel percorso rettilineo la forma laterale dello sci, se è curva, sposta probabilmente più neve che se fosse dritto, e quindi più è curva (maggiore centina) meno veloce è lo sci. Infatti gli sci da discesa hanno centina minore di quelli da slalom gigante. Con sci a lamine diritte ($S=0$) si dovrebbe ottenere la massima velocità ma non sembra possibile dirigerli con la tecnica della presa di spigolo. Nascerà una nuova tecnica per guidare degli sci da discesa a lamine diritte?

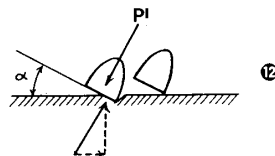
Si potrebbe pensare, ad esempio, a comandi aerodinamici sul tipo dei timoni degli aerei; ma probabilmente nascerebbero anche problemi di equilibrio laterale. Bisogna anche tener presente che le curve delle lamine sono divaricate (lo sci è più largo davanti): ciò favorisce la

variazione di rotta, però provoca anche una piccola derapata iniziale, ed inoltre la punta schiaccia troppa neve, creando una traccia più larga del corpo dello sci; ciò significa accettare minor scorrevolezza in cambio di maggior maneggevolezza.

3. Curva senza derapata

3.1. **Analisi del fenomeno** - Quando uno sciatore fa una curva desidera variare rapidamente di direzione e nascono forze centrifughe, evidenziate dalla sua inclinazione, che non si possono trascurare come effetto sullo sci. Supponiamo quindi (vedi figura 1) che lo sciatore, arrivato in B, desideri curvare a sinistra: deve quindi ottenere una forza che defletta la sua traiettoria a sinistra, e che sarà poi la forza centrifuga durante la curva.

Per far ciò lo sciatore dispone gli sci come nella figura 12, con una netta presa di spigoli sulla neve e si appoggia in teoria sul solo sci esterno (possiamo trascurare lo sci interno). Nascono i seguenti fenomeni:



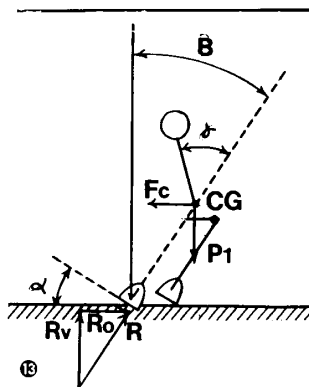
a) Lo sci esterno incide la neve con la lamina interna: questa è curva per costruzione, ma la sua curvatura aumenta perché lo sci è inclinato, e perché lo sci, più caricato che nelle figure 6 o 10, sprofonda maggiormente nella parte centrale, mentre diminuisce lievemente per la torsione: l'analisi è più avanti. In conclusione lo sci in curva ha un raggio minore di quello di costruzione; e può eseguire, senza derapare, curve di raggio abbastanza piccolo.

b) La reazione della neve è nettamente inclinata rispetto alla verticale (mentre era verticale alla figura 6, quasi verticale alla figura 10); quindi fornisce

una componente orizzontale che deflette la traiettoria: questa componente orizzontale è perpendicolare alla traiettoria curva e diretta verso il centro della curva, quindi è una forza centripeta; questa forza è al livello neve.

c) Se lo sci inizia la curva, anche il corpo dello sciatore dovrà seguire una traiettoria curva. Nascerà quindi una forza centrifuga, diretta verso l'esterno della curva, che possiamo per semplicità supporre applicata al baricentro (centro di gravità = CG) dello sciatore, su per giù 15 cm sotto l'ombelico. Per evitare di essere buttato verso l'esterno lo sciatore dovrà inclinarsi all'interno.

d) Poiché l'angolo di presa di spigolo α è in genere diverso dallo spostamento angolare del baricentro (perché lo sciatore appoggia sul solo sci esterno, che è fuori mezz'aria del corpo) nasce la «angolazione» che schematizziamo con la figura 13: il torso non è allineato con le gambe. Inoltre la gamba interna deve essere «più corta» di quella esterna: sarà allora più flessa, quindi potrà portare meno carico. Dunque è vero che lo sci esterno è più caricato.



Le forze in gioco sono:
1) Reazione della neve R: scomponibile in:

2) Componente verticale R_v . III

creando una traccia nella neve

- 3) Componente orizzontale
 R_o = Forza centripeta.
 4) P' = Componente del peso
 sciatore perpendicolare al pen-
 dio (l'altra componente, P'' =
 = forza propulsiva, qui non in-
 teressa).

- 5) F_c = Forza centrifuga =
 $\frac{P}{g}$

$$= \frac{v}{r} \times \omega^2 \times r = \dots \dots \dots$$

e) Lo sciatore equilibra queste
 forze variando la presa di spi-
 golo = α , l'inclinazione del cor-
 po = β e l'angolazione = γ . No-
 tare che l'angolazione (sposta-
 mento del baricentro del torso)
 dipende da muscoli notevoli,
 quindi è rapida, perciò lo scia-
 tore usa il torso come peso fa-
 cilmente spostabile per disloca-
 re il suo baricentro complessivo
 senza spostare le gambe che re-
 golano α .

Come conclusione provvisoria
 potremmo limitarci a dire che
 la curva può continuare così.
 Ma come si comporta, come si
 deforma lo sci nelle condizioni
 illustrate alla figura 13, diverse
 da quelle della figura 6?

3.2. Condizioni dello sci - Chie-
 do scusa se considero un solo
 sci, che porta tutto il carico.
 In pratica il carico è solo per
 3/4 sullo sci esterno: però l'a-
 nalisi è più semplice conside-
 rando un solo sci, e i risultati
 sono applicabili anche al caso
 reale (carico 3/4 e 1/4).

3.2.1. Effetto presa di spigolo -
 Sci in presa di spigolo: senza
 sprofondamento (ghiaccio) e
 senza torsione. Consideriamo
 che cosa accade allo sci quando
 viene appoggiato alla neve in
 presa di spigolo. Per ora suppo-
 niamo la neve così dura che lo
 sci non la incida quasi per rien-
 te, il che è possibile. Supponia-
 mo anche che lo sci sia infinita-
 mente rigido a torsione, il che,
 è impossibile in realtà, è però
 un trucco per semplificare il ra-
 gionamento. Più avanti vedremo
 cosa succede con la torsione.

a) figura 14: lo sci è stato mes-
 so sulla neve in presa di spigolo.
 Un istante prima non toccava
 la neve (effetto distensione), ora

arriva a sfiorarla. Toccherà ini-
 zialmente nei punti P e C. Non
 c'è carico fra sci e neve. La se-
 zione centrale (M) è sollevata
 dalla neve.

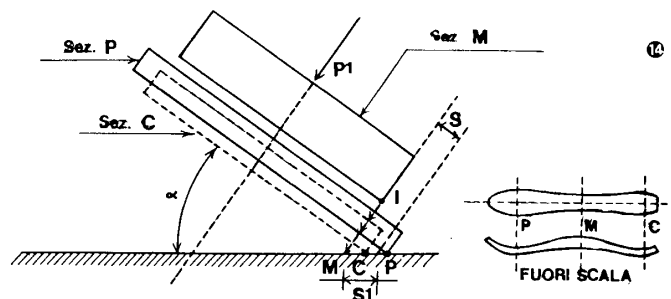
b) Lo sci viene progressivamen-
 te caricato a flessione, sia pu-
 re in tempo brevissimo, con P'
 componente (perpendicolare al
 pendio) del peso + forza d'iner-
 zia sciatore. Quindi lo sci si flet-
 te e la sezione M si abbassa
 sino a toccare la neve in M'.
 È chiaro che se lo sci ha una
 certa centina laterale S (di co-
 struzione) appoggerà sulla neve
 con lo spigolo della lamina pas-
 sante per P, M', C. Questa curva

avrà dunque una centina S'
 maggiore di S: naturalmente
 tanto maggiore quanto più gran-
 de è α . Per conoscere S' serve
 la formula:

$$S' = \frac{S}{\cos \alpha}$$

ma naturalmente è utilizzabile
 anche il disegno.

Ad esempio consideriamo uno
 sci lungo metri 2,10 con $S = 7$
 (Lamborghini Competition); e
 supponiamo che questa linea
 curva fra sci e neve sia un ar-
 co di cerchio: si otterranno i
 dati della tabella 15.



Presa di spigolo α	0°	15°	30°	45°
il coseno vale	1	0,966	0,866	0,707
quindi S aumenta del	0 %	3,5 %	15 %	41 %
se $S = 7$ mm, si ha $S' =$ (mm)	7	7,25	8,1	9,9
e un raggio di curva pari a m	64	62,5	55	44,5

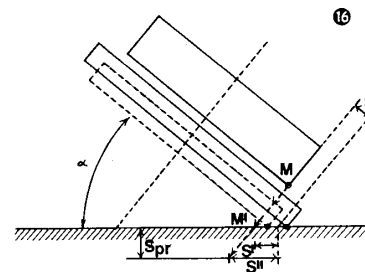
c) Prima conclusione: il fatto
 di mettere lo sci in presa di
 spigolo ne diminuisce il raggio
 laterale, quindi lo sci curva più
 stretto. Ciò vale solo per sci
 con sciancratura; per $S =$ zero
 ($r =$ infinito), nessuna variazio-
 ne. Seconda conclusione: è pos-
 sibile regolare il raggio dello sci
 con variazioni della presa di
 spigolo.

3.2.2. Effetto sprofondamento -
 Sci in presa di spigolo, con pic-
 colo sprofondamento della par-

te centrale, ma senza torsione
 (neve non dura).

Sembra giusto considerare che
 lo sci sprofondi nella neve, al-
 meno per neve che non sia
 ghiacciata. Tutti abbiamo visto
 le nostre tracce in curva. Vor-
 rei però far notare che: il $P' =$
 $= 50 \div 60 \div 70$ kg provoca pres-
 sione fra sci e neve. Se ambe-
 due gli sci da 2,10 sono di pia-
 to, appoggiano sulla neve per
 circa $2 \times 1500 = 3000$ cm². Con
 60 kg significa in media 20 gram-
 mi/cm².

Se P' si scarica su un solo sci,
 la superficie sarà ridotta a me-
 tà: quindi pressione specifica
 media, il doppio; inoltre se il
 solo sci caricato, in presa di spi-
 golo, appoggia sulla neve con
 metà larghezza, la pressione
 specifica media raddoppia anco-
 ra; e non volete che sprofondi?
 Il ragionamento quindi confer-
 ma la nostra esperienza: biso-
 gna tener conto dello sprofonda-
 mento. Ma quale valore gli
 dovremo attribuire? Sprofonda
 di più la parte centrale rispet-
 to a punta e coda, o no? Certa-
 mente è poco persuasivo pensa-
 re che la punta sprofondi più
 del centro, ma che cosa fa la
 coda? Al minimo, pare, scorre-
 rà nella traccia di sprofonda-
 mento fatta dalla parte centra-
 le; oppure una leggera derapata
 la fa lavorare su neve non de-
 formata? Non esistono dati va-
 lidi: supponiamo quindi che la
 parte centrale sprofondi di 1
 centimetro rispetto al piano
 punta-coda, tanto per vedere
 l'effetto sul raggio di curva.
 Alla figura 16, ripetiamo la figu-
 ra 14 e il relativo ragionamento.



Lo sci fletterà, la sezione cen-
 trale si abbassa, ma invece di
 fermarsi quando tocca in M' la
 neve dura, sprofonda di 1 cm e
 arriva in M''. Allora avremo una
 centina laterale S'' maggiore di
 S' ; calcolabile con un disegno
 in scala, oppure con la formula
 seguente:

$$S'' = S' + Spr. \operatorname{tg} \alpha$$

e cioè:

$$S'' = \frac{S}{\cos \alpha} + \text{Spr. tg. } \alpha.$$

Ad esempio per lo sci preso in considerazione alla tabella 15, $\alpha = 30^\circ$, Sprofondamento = 1 cm si ha:

S = centina laterale di costruzione = 7 mm; $r = 64$ m.

S' = centina aumentata per presa di spigolo = 8,1 mm; $r = 55$ metri.

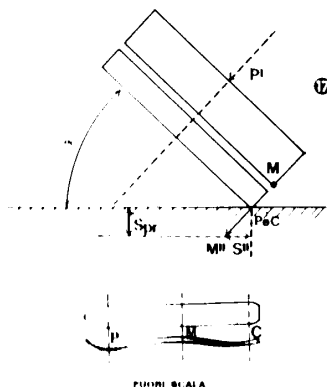
S'' = centina aumentata per presa di spigolo e per sprofondamento di 1 cm al centro = 13,9; $r = 34$ m.

Conclusione: questo effetto sprofondamento è notevolmente importante, può dimezzare il raggio originario. D'altra parte, lo sprofondamento della parte centrale dello sci significa consumo di energia (più R'); probabilmente per ogni durezza di neve esiste lo sci migliore (come flessibilità) che offre la massima velocità. In realtà nell'agonismo si vedono usare sci sempre più flessibili.

3.2.3. Effetto sprofondamento -

Sci senza sciocratura, cioè $S = 0$ (lamine diritte) sempre in presa di spigolo. È molto interessante notare che l'effetto sprofondamento resta valido. Supponendo ancora 1 cm di sprofondamento, ma sci con $S = \text{zero}$, osserviamo la figura 17: in cui le lamine sono diritte e parallele.

Come per la figura 16, applicando il carico alla parte centrale dello sci, questo flette: la parte centrale si abbassa, e se arriva soltanto allo stesso livello di punta e coda, si ha $S = \text{zero}$. Se però la parte centrale sprofonda nella neve più della punta e coda, si ottiene un certo S che vale $S'' = \text{Sprofondamento tangenziale}$. Ad esempio: un 2,10 senza sciocratura (fianchi e lamine diritte) S di costruzione = zero, e quindi raggio laterale di costruzione = infinito; con presa di spigolo 30° , e Sprofondamento = 1 cm, ha $S'' = 5,8$ mm; quindi $r = 77$ m.



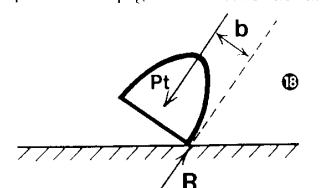
Conclusione: se la parte centrale sprofonda, uno sci a lamine diritte e parallele può avere un raggio laterale.

Osservazione: questo tipo di sci, invece di piatto, sembra che scivoli spostando la minima quantità di neve e quindi massima velocità. È però sufficientemente maneggevole e stabile? Probabilmente no, con la tecnica attuale che si è sviluppata per sci sciocrati (S positivo). Naturalmente è possibile che sia utilizzabile con una tecnica diversa: ma solo l'esperienza potrebbe chiarirlo.

3.2.4. Effetto torsione - Sci in presa di spigolo, con torsione dello sci ma senza sprofondamento; per semplificare, in parole povere, curva sul ghiaccio.

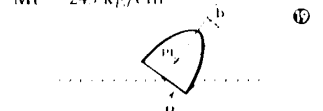
a) Perché c'è la torsione, come è distribuita, quanta torsione sopporta lo sci?

Esaminiamo la figura 18: sci in presa di spigolo su neve dura.

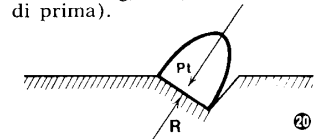


Lo sci è caricato in mezzzeria da $P_t = P'$ + forze d'inerzia (cioè peso, forza centrifuga, spinta

dei talloni, eccetera). La reazione della neve sarà uguale e contraria a P_t , ma agisce sullo spigolo che tocca la neve, quindi fra P_t e R c'è una distanza «b»; ovvio che nasce torsione, di valore $M_t = R \times b = P_t \times b$. Dove b è pari a metà larghezza sci: quindi b è maggiore in punta e coda, minore in centro. Consideriamo la media. Per la figura 18 possiamo supporre: P_t 70 chilogrammi; $b = 3,5$ cm; si ha $M_t = 245$ kg/cm.



Esaminiamo ora la figura 19. Questa volta ci troviamo su neve molle, in cui lo sci appoggia per metà (lascia una traccia della curva profonda circa 4 cm); R si può supporre che sia in mezzzeria della superficie che appoggia sulla neve: quindi b è diventato la metà del caso precedente. Allora $P_t = 70$ kg (come prima); $b = 1,75$ cm; $M_t = 122$ kg/cm (torsione metà di prima).



Esaminiamo ora il comportamento su neve molle, in cui lo sci appoggia tutto (traccia in curva profonda circa 8 cm). Se R è in mezzzeria della superficie appoggiata sulla neve, $b = \text{zero}$: quindi $M_t = 0$.

Conclusione: la torsione varia molto secondo la neve, è massima sul ghiaccio. Non è chiaro il collegamento logico con il problema della tenuta sul ghiaccio, ovvio però che il problema sia influenzato dalla torsione; quindi la sua soluzione richiede sci con giusta torcibilità statica e dinamica, oltre che attacchi sufficientemente rigidi, scarpe che trasmettano correttamente la forza delle gambe, muscolatura

in grado di fornire le forze necessarie, sistema nervoso in grado di dosare le forze.

b) **Torcibilità degli sci.** Esaminiamo uno sci lungo metri 2,10; applicando in punta (P) o in coda (C) 150 kg/cm (3 kg con leva di 50 cm) e bloccandolo circa in centro (a 1 m da P; o da C) si ha:

sci metallico, nucleo in legno o plastica: torsione $4^\circ \div 8^\circ$;

sci vetroresina, nucleo in legno o plastica: torsione $6^\circ \div 12^\circ$;

sci legno: torsione $10^\circ \div 20^\circ$.

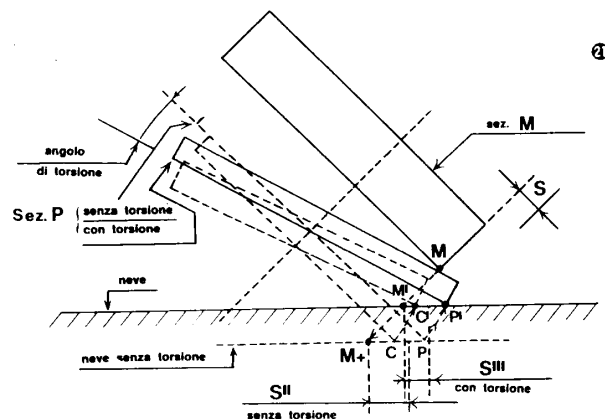
c) **Effetto torsione:** sci in presa di spigolo, con flessione e torsione, su neve dura (senza sprofondamento). Nella fase iniziale sci che sfiora la neve in P e C, senza carico (la situazione è ancora quella di figura 14). Se applichiamo P_t lo sci flette sinché la parte centrale tocca la neve in M ma punta e coda si torcono: alla figura 21 esaminiamo le condizioni finali.

Si vede che per effetto torsione la sezione P e la C si comportano come se fossero meno larghe: quindi S si riduce. Per comprendere è necessario considerare la linea «neve senza torsione sci»: la sezione M toccherebbe in M' , e si avrebbe S' , maggiore di S'' . Per calcolare S'' e il relativo raggio si può usare un disegno accurato, oppure la formula, approssimata perché suppone torsione punta = torsione coda;

$$S''' = S' - \left(\frac{LP + LC}{4} \right) (1 - \cos \delta)$$

in cui S' è data dalla formula enunciata al paragrafo 3.2 e l'angolo di torsione S avrà valori circa come detto in b), perché avremmo torsione di circa 245 kg/cm (vedi a)); che possiamo dividere 122,5 kg/cm sulla parte anteriore e 122,5 sulla parte posteriore.

Per avere un'idea dei valori numerici esemplifichiamo: per uno sci lungo metri 2,10; $L = 1,9$ m; $LP = 88$ mm; $LM = 70$ mm; $LC = 78$ mm; $S = 7$ (di costruzione) si ha:



Presenza di spigolo	Torsione	cos	1-cos	Variaz. di S	S'' mm	Raggio m
0°	0°	1	0	0	7	64
30°	0°	1	0	0	8,1	55
30°	5°	0,9961	0,0039	-0,162	7,838	57
30°	10°	0,9848	0,0152	-0,63	7,47	59
30°	15°	0,9659	0,0341	-1,42	6,68	67
45°	0°	1	0	0	9,9	44,5
45°	5°			-0,162	9,738	45
45°	10°			-0,63	9,27	47
45°	15°			-1,42	8,48	53

Conclusione: a) la torsione dello sci aumenta un poco il raggio di curva. Per ottenere il raggio voluto lo sciatore deve aumentare leggermente la presa di spigolo, di un valore circa uguale alla metà dell'angolo di torsione: qualcosa come $3^\circ \div 5^\circ$ (quasi trascurabili); b) inoltre la torsione diminuisce la flessione dello sci: come si vede alla figura 21. Se lo sci non si torcesse M andrebbe in M+, mentre se si torce M va in M'. Quindi si ha minor flessione.

Osservazione: ciò probabilmente provoca maggiore carico specifico sulla parte centrale dello sci, e minore carico in punta e coda: le lamine verso punta e

verso coda « mordono » meno e sentiranno di più le irregolarità della superficie di neve. Probabilmente la stabilità si riduce (forse è questa la « minor tenuta su ghiaccio »?). Però questo maggior carico in centro farà « sprofondare » la sezione M rispetto a P e C, almeno su certi tipi di neve; allora, come visto in 3.2.3, si ha aumento di S, e l'effetto sprofondamento, minore in questo caso, riduce o annulla l'effetto torsione. Inoltre, se lo sci è meno flessibile per effetto di torsione, renderà meno energia alla prossima distensione: sarà necessaria una distensione più forte, più faticosa a cui si potrebbe rimediare irri-

gidando a flessione (però si peggiora il passaggio cunette) oppure irrigidendo a torsione (cosa non facile ma possibile) oppure aumentando S di costruzione (però può diminuire la velocità massima).

Infine è presumibile che uno sci più torcibile sia, in certe fasi, più facile. Se, ad esempio si esegue un'eccessiva presa di spigolo, che fornirà una eccessiva forza centripeta cui corrisponde eccessiva forza centrifuga e in conclusione eccessivo Pt, lo sci torcerà di più, diminuendo quindi la eccessiva presa di spigolo che originava questi difetti. Però, se è vero che r guida lo sci, con sci più torcibile, poiché la presa di spigolo dipende anche dalla torcibilità, avremo minor precisione di guida (tipo auto con gioco nel volante). Altra importante osservazione: questo meccanismo di curva non richiede distensioni o flessioni.

3.2.5. **Effetto Robic** - La torcibilità rende irregolare la sciancratura di uno sci ben costruito. In una sezione qualsiasi la diminuzione di S vale:

$$\Delta S = \left(\frac{L}{2} \right) (1 - \cos \delta)$$

in cui L = larghezza della sezione considerata, e δ = sua torsione.

Se lo sci ha una forma laterale che è un arco di cerchio, dato che la torsione dal centro alle estremità varia con una legge che non è legata a un cerchio, la variazione sarà tale che la forma (in pianta) della lamina non sarà più un arco di cerchio. In conseguenza la lamina, il cui spigolo incide la neve, avrà raggi diversi nella varie parti dello sci: probabilmente maggiore in punta e coda, minore al centro. Anche supposto che, voluta una certa traiettoria curva, lo sciatore adotti in ogni punto la miglior presa di spigolo in modo da avere spigolo dello sci con i raggi più vicini al raggio istantaneo di curva: se questi raggi, nello stesso istante sono

diversi fra P, M e C sarà possibile che lo sci scorra con la minima resistenza nella traccia da esso stesso creata.

Ad esempio, se abbiamo un tubo curva di raggio 60 m., per farci scorrere dentro un'asta di ferro con il minimo attrito, converrà curvare l'asta con un raggio uguale.

Ma se l'asta è in parte meno curva (cioè raggio maggiore) e in parte più curva (raggio minore) farà più attrito. È necessario quindi correggere, in costruzione, la forma laterale dello sci, in modo che con l'effetto torsione si ottenga la curva migliore. Però la correzione può essere perfetta solo per un dato valore della presa di spigolo, e per un dato tipo di neve.

Naturalmente un'altra soluzione sarebbe quella di costruire sci infinitamente rigidi a torsione, il che però non è possibile. Questa piccola correzione alla forma dello sci (qualche decimo di mm) si può fare anche su sci già costruiti, e costituisce una parte dell'arte dello ski-man che, se esperto, ha un « occhio » capace di adattare lo sci al tipo di neve.

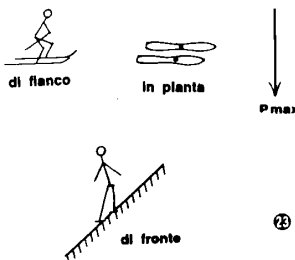
4. Curva con derapata

Nella pratica dello sci — gare incluse — si vedono sempre notevoli spruzzi laterali di neve, che sarebbero inspiegabili se lo sci curvasse soltanto nel modo descritto, e cioè seguendo la traccia autocreata. In tal caso dovremmo infatti vedere solo un modesto spruzzo in punta, dove viene creata la traccia.

Se la neve viene buttata di lato significa che gli sci derapano, cioè si muovono lungo la loro traiettoria senza essere allineati con essa: gli sci sono un poco « di traverso » e sempre con la punta dentro e la coda fuori della traiettoria della parte centrale. Anche il fatto che sia possibile eseguire curve con raggio assai minore di quelli sinora calcolati conferma che la derapata è frequente. Altrimenti sarebbe impossibile compiere curve con raggio di 2 metri ad

esempio. A prima vista vien da pensare che gli sci attuali non siano i migliori per ottenere lo scorrimento con minimo attrito e quindi la massima velocità. È probabile che ciò sia vero, e può darsi che alcune limitazioni sorgano dalle materie prime disponibili, che non sono ideali. Di qui il desiderio di capirci qualcosa di più, ossia di analizzare.

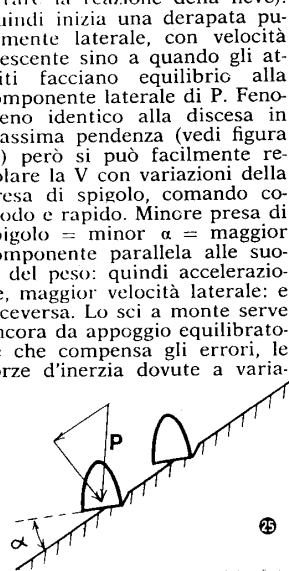
4.1.1. Derapata senza curva (senza che lo sci giri). Questo sottotitolo è in disaccordo con il precedente. Ciò è dovuto al desiderio di ridurre gli errori iniziando con il fenomeno più semplice purché reale, e poi complicando passo-passo. È un sistema che facilita le ana-



lisi, ma che allunga (anche troppo) le esposizioni. Supponiamo lo sciatore fermo con sci lungo pendenza zero, e cioè a 90° con pendenza massima: alla figura 23 è visto di fianco, in pianta (cioè da sopra: ma disegnando solo gli sci) e di fronte. Dato che lo sci a monte è più alto per colpa del pendio, la gamba a monte deve accorciarsi, quindi è più flessa della gamba a valle. Di conseguenza lo sci a monte è un poco avanzato. Poiché la gamba a monte è flessa, avrà meno carico della gamba a valle, quindi il torso sarà un poco inclinato verso la valle, e la gamba a valle un poco

inclinata verso monte, in modo che il centro di gravità (CG) sia sopra allo sci a valle per scaricare comodamente il peso su di esso.

Alla figura 24 osserviamo il particolare degli sci di fronte; lo sci a valle avrà una presa di spigolo α , tale da tener orizzontale lo sci in modo che non scivoli di lato, e in questo caso P non ha componente laterale, perché lo sci è orizzontale, quindi schiaccia verticalmente la neve. L'altro sci, meno caricato, inciderà meno la neve: servirà come appoggio di equilibrio, avrà probabilmente minor presa di spigolo e potrebbe anche non aver presa di spigolo. Supponiamo che lo sciatore, con tutto (o quasi) il carico sullo sci a valle, ne diminuisca la presa di spigolo. In tal caso, come mostra la figura 25, la P (verticale) si scompone in una forza perpendicolare alla suola dello sci (che schiaccia la neve) ed in una forza parallela alla suola, che fa scivolare di fianco lo sci. (Sarebbe più corretto, ma meno chiaro, considerare la reazione della neve). Quindi inizia una derapata puramente laterale, con velocità crescente sino a quando gli attriti facciano equilibrio alla componente laterale di P . Fenomeno identico alla discesa in massima pendenza (vedi figura 12) però si può facilmente regolare la V con variazioni della presa di spigolo, comando comodo e rapido. Minore presa di spigolo = minor α = maggior componente parallela alle suole del peso: quindi accelerazione, maggior velocità laterale: e viceversa. Lo sci a monte serve ancora da appoggio equilibratore che compensa gli errori, le forze d'inerzia dovute a varia-



zioni di V : naturalmente anche esso dovrà scivolare lateralmente, quindi dovrà ridurre la presa di spigolo.

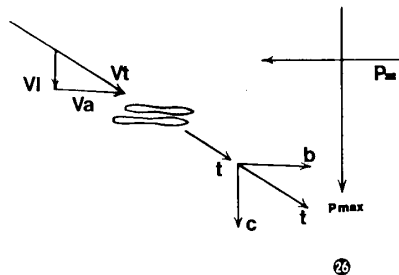
4.1.2. Derapata con rotazione degli sci (rotazione dell'asse longitudinale degli sci). Alla figura 25 la forza che fa scivolare lateralmente gli sci è la componente, parallela alla suola sci, del peso. Se il peso dello sciatore è a metà sci (metà della superficie che lavora) lo sci si muoverà solo di lato, restando parallelo a se stesso, ma se il peso è portato più avanti, la parte anteriore dello sci sarà sottoposta a maggior forza laterale (perché più peso sulla parte anteriore = maggior componente parallela alla suola): quindi scivolerà a valle più rapidamente della parte posteriore e la punta girerà verso valle. Se invece lo sciatore porta il peso indietro, tutto al contrario: code a valle.

Conclusione provvisoria: durante una derapata soltanto laterale si possono far girare gli sci spostando avanti o indietro il peso dello sciatore. Bisogna anche notare che in tal modo lo sciatore può contrastare le perturbazioni dovute alle asperità del terreno.

Osservazione. Su « Skiing » dell'ottobre 1968 si riportano alcune esperienze che confermano quanto sopra. Si dice però che per « grande diminuzione della presa di spigolo » la rotazione si inverte. Le nostre esperienze non confermano che questa inversione esista, e quindi non ne teniamo conto. Bisognerebbe riprovare.

4.1.3. Derapata diagonale.

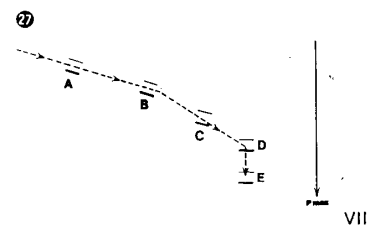
Se lo sciatore lascia che gli sci puntino un poco verso valle, al movimento laterale (lungo la massima pendenza) si sommerà uno scivolamento longitudinale degli sci: si avrà la classica derapata diagonale (figura 26). Lo sciatore percorrerà la traiettoria t . I suoi sci però puntano più a monte e scivolano: a) lateralmente, velocità VL (in direzione della massima pendenza);



b) assialmente, velocità VA (parallela agli sci). La velocità totale sarà Vt , somma vettoriale di $VL + VA$.

Se lo sciatore, senza girare gli sci, aumenta la presa di spigolo, VL diminuisce fino ad annullarsi e la traiettoria diventerà parallela alla b . Se invece non aumenta la presa di spigolo, ma gira le punte più a monte, sino ad avere gli sci sulle linee di pendenza nulla (perpendicolari alla massima pendenza) sarà la VA a ridursi a zero: la traiettoria diventerà parallela a C (ossia alla massima pendenza). Se, oltre a portare gli sci perpendicolari alla massima pendenza, ossia in pendenza nulla, aumenta anche la presa di spigolo, riduce anche VL sino a zero: cioè si ferma.

4.1.4. Diagonale, derapata diagonale, arresto: a velocità minima. Possiamo combinare alcuni fenomeni già analizzati. Trascuriamo però le forze d'inerzia supponendo che le velocità siano piccole: semplificheremo l'analisi, ma forse il risultato sarà irrealistico.

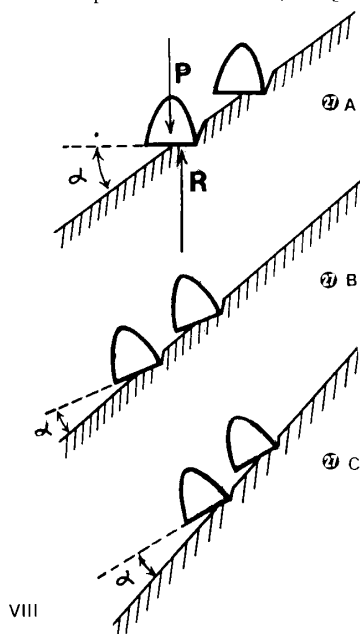


Alla figura 27 i trattini rappresentano l'asse longitudinale degli sci: più grosso quello caricato.

In A lo sciatore arriva in diagonale: la traiettoria non è in pendenza massima, ma ha una pendenza positiva, quindi gli sci scivolano (vedi § 2.2. che giustifica la forza propulsiva). I suoi sci hanno una presa di spigolo tale da essere orizzontali nella direzione della massima pendenza (circa in senso trasversale allo sci): non c'è derapata, $VL = \text{zero}$. C'è torsione, perché la reazione della neve è fuori mezz'aria, quindi è necessaria una certa forza per mantenere α .

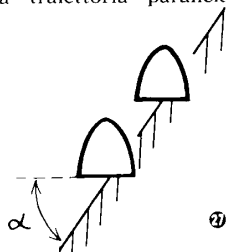
In B lo sciatore diminuisce la presa di spigolo inizia una derapata laterale e prosegue lo scivolamento assiale.

Quindi la traiettoria curva verso valle: si ottiene la condizione C, che è uguale circa a B, ma con pendio più ripido, perché la traiettoria si è avvicinata alla pendenza massima; l'ango-



lo α è invariato rispetto alla neve, ma è aumentato rispetto all'orizzontale.

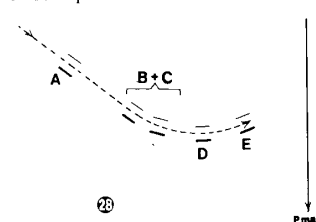
Sempre in C, in derapata diagonale, lo sciatore porta il peso indietro. Allora sulle code c'è una forza laterale più grande che sulle punte: le code girano a valle, sino a che lo sci si trova parallelo alla pendenza zero. La forza propulsiva si annulla, lo scivolamento assiale degli sci si annulla per attrito; inizia (D) una pura derapata laterale, in direzione della pendenza massima: ma in D lo sciatore aumenta α , riporta le suole in orizzontale: e alla figura 27 D si vede l'aumento di pendenza dovuto alla traiettoria parallela alla



pendenza massima e l'aumento di α .

Si azzera anche la componente laterale che faceva derapare gli sci: l'attrito annulla la VL, lo sciatore si ferma.

4.1.4. Diagonale, derapata diagonale, arresto a velocità normali. La descrizione al § 4.1.3. è irrealistica: non si può trascurare l'energia cinetica contenuta nella massa dello sciatore che, se per esempio va a 30 km/h può benissimo risalire un pendio di $5 \div 7$ m. Ossia sfruttando la propria energia di moto può alzare il suo peso di 5-7 metri. Infatti



la manovra in realtà ha l'andamento della figura 28.

In A tutto come prima: ma lo sciatore va a 40 km/h e quindi supponiamo una traiettoria più pendente. B e C si confondono: riduzione di presa di spigolo, e spostamento peso indietro sono contemporanei. Nasce la derapata; la velocità assiale non si annulla subito per inerzia. Dato che gli sci puntano più a monte, la traiettoria curva verso monte: c'è derapata verso valle, ma la sua velocità è modesta rispetto alla velocità assiale. Proprio perché c'è derapata gli sci sono angolati rispetto alla traiettoria, quindi fanno più attrito, frenano.

In D aumenta la presa di spigolo, si azzera la forza laterale, ma c'è ancora velocità assiale e lo sciatore si ferma solo in E (con tendenza a scivolare indietro). Questo, visto dalla parte degli sci-macchina, è il cristiano a monte, primo esempio di curva con derapata.

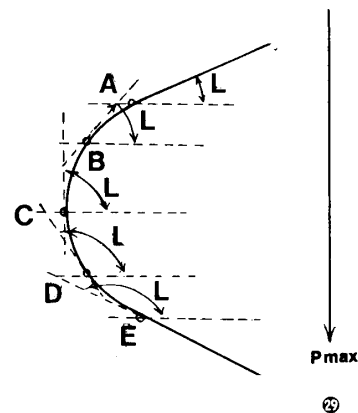
E anche possibile ruotare gli sci rispetto alla traiettoria con la forza a torsione delle gambe (braquage). Su neve dura la manovra è facile, e può sostituire la fase C.

Questa analisi però è incompleta: abbiamo solo sfiorato il problema dei cambiamenti di pendenza e abbiamo trascurato le forze d'inerzia verticale, anch'esse importanti.

4.1.5. Esame dei cambiamenti di pendenza (possibili su pendio uniforme). Posto che il pendio abbia una pendenza uniforme (uguale dappertutto) vediamo il caso di una curva di tipo comune. Alla figura 29 lo sciatore arriva in diagonale in A: durante la diagonale la sua traiettoria non è in pendenza massima, quindi avrà una pendenza minore.

In A inizia la curva: già in B la traiettoria punta a valle, quindi è a pendenza maggiore, in C è a pendenza massima; in D pendenza diminuita; in E pendenza ancora minore.

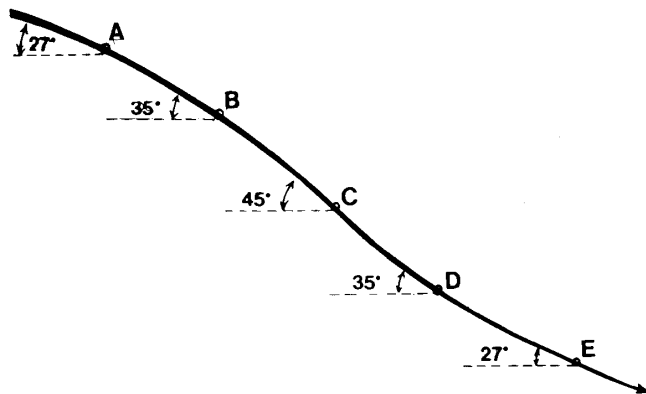
Detto L l'angolo fra la direzione



ne della traiettoria (nel punto in esame) e la perpendicolare a pendenza massima (cioè linea di $P = \text{zero}$) si ha: pendenza della traiettoria seguita $= P = P_{\text{max}} \times \sin L$.

Ad esempio nella tabella 29, supposto $P_{\text{max}} = 1$ e cioè 45° , si ha: Ma la forza propulsiva è proporzionale alla P (vedi § 1.2.). Se P varia da 0,5 a 1, anche la F_p varia: per uno sciatore da 80 kg sarà circa 35 kg in A e circa 56 kg in C, tornando a 35 in E. Quindi forte accelerazione nella prima metà della curva (A-C) e forte decelerazione nella seconda metà (C-E). Notare che la F_p è al livello neve: lo sciatore deve prepararsi all'accelerazione (portare peso avanti circa in A) e alla decelerazione (peso indietro circa in C). Oppure, se non sposta il suo peso, e rimane in piedi in virtù di attacchi OK, scarponi rigidi, gambe di ferro, nella prima metà curva farà più forza sui talloni (cioè più carico su code sci) e nella seconda più forza sulle dita (più carico sulle punte), per reagire alla variazione di F_p . In realtà si ha combinazione dei due sistemi. Se riportiamo una dopo l'altra le condizioni suddette, si ha la figura 30 A: abbastanza curiosa per un pendio con pendenza uniforme.

Punto	L	sen L	P	P in gradi
A	30°	0,5	$1 \times 0,5 = 0,5$	27°
B	45°	0,7	0,7	35°
C	90°	1	1	45°
D	135°	0,7	0,7	35°
E	150°	0,5	0,5	27°



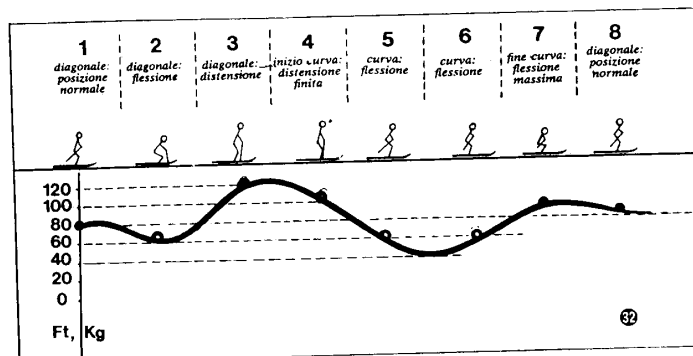
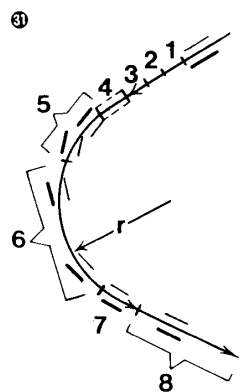
4.1.6. Effetto delle forze d'inerzia verticale durante una curva con distensione + flessione.

Questa descrizione è apparsa su « Skiing » dell'ottobre 1968 (autore non indicato, credo Pfeiffer). Spero di averla ampliata.

Ora analizziamo solo le conseguenze della distensione e flessione, in seguito aggiungeremo le variazioni di pendenza appena esaminate.

Alla figura 31 esaminiamo il solito pendio uniforme, diagonale di ingresso, curva, diagonale di uscita. Le pendenze della traiettoria saranno sul tipo di quelle alla figura 30 A ma per ora trascuriamo le variazioni di pendenza e cioè supponiamo $F_p = \text{costante}$.

Alla figura 32 una dopo l'altra, vediamo le posizioni medie nelle varie fasi e il carico F_t sugli sci = peso + forze d'inerzia verticale.



Descrizione delle fasi.

1) diagonale di ingresso: solita posizione normale, caviglie, ginocchia, anca con angolo di 70° per poter reagire facilmente alle sollecitazioni accidentali; peso 80 kg, forze d'inerzia verticali zero: $P + F_i = 80 \text{ kg} = F_t$.

2) Preparazione alla distensione. Lo sciatore sempre in diagonale si flette: arriva su per giù con caviglie 50°, ginocchio 50°, anca 50°. Durante la flessione abbassa il centro di gravità (CG). Se questo si abbassa e prima era fermo, significa che c'è accelerazione verso il basso. Nasce F_i negativa (cioè verso l'alto) = massa sciatore $\times$ accelerazione verso il basso. È calcolabile, ma è più facile provare su una bilancia.

Ad esempio avremo a metà flessione:

$$\begin{aligned} P &= 80 \text{ kg} \\ F_i &= -20 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$F_t = 60 \text{ kg}$$

Quindi durante la flessione (zona 2 nelle figure 31 e 32) F_t diminuisce: di poco, perché la flessione è lenta. Alla fine della flessione la F_i si azzerava: si ritorna a $F_t = 80 \text{ kg}$. Inoltre verso il termine della flessione lo sciatore pianta il bastoncino interno verso la punta dello sci.

3) Distensione. Finita la flessione e sempre in diagonale, lo sciatore esegue una distensione rapida spingendo sulla neve,

estende i segmenti corporei con molta più velocità che durante la flessione, quindi ci vuole più forza e per questo fa forza anche con il bastoncino per lanciarsi in alto. Il centro di gravità viene accelerato verso l'alto, nasce F_i positiva. Possiamo avere a metà distensione:

$$\begin{aligned} P &= 80 \text{ kg} \\ F_i &= +40 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$F_t = 120 \text{ kg}$$

4) A fine distensione (caviglia, ginocchio, anca a 80°), lo sciatore blocca i segmenti corporei: durante questa fase non spinge più sulla neve, però per l'accelerazione verso l'alto ottenuta in fase 3 il suo corpo continua a spostarsi verso l'alto: quindi F_t diminuisce sino ad azzerarsi. A metà della fase 4:

$$\begin{aligned} P &= 80 \text{ kg} \\ F_i &= +20 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$F_t = 100 \text{ kg}$$

Al termine della fase 4:

$$\begin{aligned} P &= 80 \text{ kg} \\ F_i &= 0 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$F_t = 80 \text{ kg}$$

Lo sciatore, dall'inizio della fase 4, non si appoggia più al bastoncino, tanto non vuole spingere più.

5) All'inizio della fase, posizione IX

ne estesa (caviglia, ginocchio e anca a 80°) flessione lenta tipo 2: alla fine posizione normale (caviglia, ginocchio e anca a 70°). Quindi accelerazione del centro di gravità verso il basso, F_i negativa.

All'inizio

$$F_t = 80 \text{ kg}$$

a metà

$$P = 80 \text{ kg}$$

$$F_i = -20 \text{ kg}$$

$$F_t = 60 \text{ kg}$$

alla fine

$$P = 80 \text{ kg}$$

$$F_i = -40 \text{ kg}$$

$$F_t = 40 \text{ kg}$$

Durante questa fase gli sci sono scaricati. Lo sciatore può agevolmente cambiar spigolo, procurarsi la forza centripeta descritta al § 3.1. e nell'istante in cui gli sci sono piatti può facilmente ruotarli, cioè dirigere la punta all'interno della curva. Per ruotare gli sci rapidamente è comodo potersi attaccare a qualcosa, che in questo caso può essere una forza d'inerzia: e infatti già in 2 lo sciatore gira il torso in modo da rivolgerlo a valle. Quando, in 5 vuole ruotare gli sci verso valle, si aiuta riportando il torso un poco verso l'esterno della curva, creando una forza d'inerzia contraria a quella che frena la rotazione degli sci (spiegazione non certa). Dato che si tratta della prima metà della curva, il fenomeno di maggior carico sulle code (vedi § 4.1.5.) può essere utilizzato per far derapare le code all'esterno (dopo il cambio di spigolo); oppure — forse — per aumentare la rapidità con cui le punte girano verso l'interno della curva. Oppure il fenomeno può essere ridotto o annullato con spostamento in avanti (abbastanza logicamente collegato alla flessione).

6) A questo punto gli sci (figura 31) puntano a valle, hanno

già fatto metà rotazione: si può benissimo completare la curva usando il loro lato, che è curvo (v. 3 e segg.).

Però lo sciatore è in direzione di pendenza massima, ciò provoca grande velocità e ampio raggio, in genere non voluti. Inoltre nella seconda metà curva, il maggior carico sulle punte (vedi § 4.1.5.) rende difficile la derapata delle code. Lo sciatore segue il metodo precedente: all'inizio è in posizione normale (c, g, a, = 80°); si flette ancora, alla fine è assai flesso (c, g, a, = 50°). Con questo sistema crea una F_i negativa che riduce il carico sugli sci, cioè prolunga il tempo durante il quale gli sci, scarichi, si manovrano più facilmente. In particolare è facilitata la derapata perché gli sci incidono meno la neve, scivolano meglio di lato.

E durante la derapata basta spostare di poco il peso indietro per far derapare di più le code (vedi § 4.1.3.) e quindi continuare a far ruotare, senza sforzo, gli sci: la rotazione si intende riferita alla direzione di massima pendenza, che è il riferimento della figura 31. Lo sciatore può continuare la derapata, quindi la frenata, particolarmente utile dato che sta uscendo dalla massima pendenza.

7) Quando la curva è finita, lo sciatore arresta la flessione (è con c, g, a, = 50°) quindi si ha una F_i positiva. In questa fase arriveremo ad avere, alla fine:

$$P = 80 \text{ kg}$$

$$F_i = 10 \text{ kg}$$

$$F_t = 90 \text{ kg}$$

Questa F_t , maggiore del peso, fa incidere di più la neve: lo sciatore contemporaneamente aumenta la presa di spigolo, e i due fenomeni fanno cessare la derapata, sparisce la relativa frenata. Lo sciatore parte velocemente in diagonale, perché la forza propulsiva è la componente di F_t , che è maggiore di P . Non è che lo sciatore « proietti

i piedi avanti », è la maggior F_p che li accelera, lo sciatore segue.

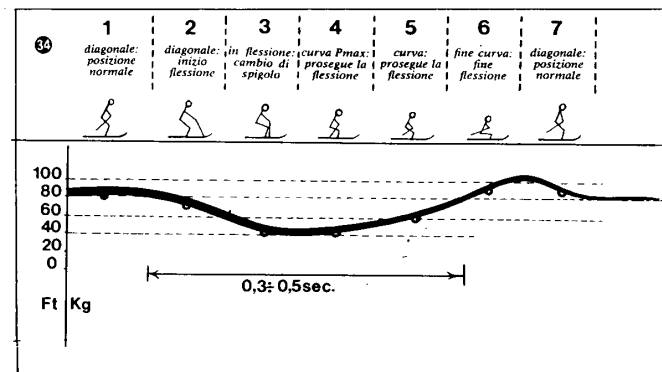
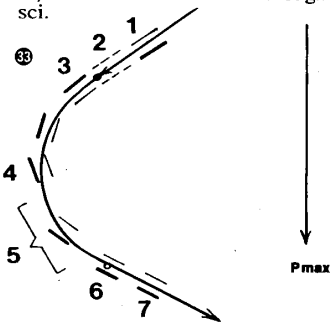
8) Se c'è diagonale, lo sciatore si riporta a una posizione normale (c, g, a, = 80°) con una lenta distensione, quindi per qualche tempo F_t rimane maggiore di P_v , quindi F_p è maggiore del normale; poi, finita questa distensione e gli effetti di inerzia, F_t ridiventa uguale a P . Quindi anche F_p ritorna al suo valore normale (componente di P e basta, essendo F_i = zero). Conviene notare subito che alla figura 32 la posizione 7 è simile alla 2, quindi lo sciatore con una distensione rapida può iniziare un'altra curva, ovviamente nell'altro senso (sino a quando non sarà possibile invertire la gravità!).

Osservazione: se per curvare l'essenziale è poter cambiar di spigolo per procurarsi la forza che defletterà la traiettoria, può bastare la sola fase 2: cioè se lo sciatore si flette rapidamente gli sci si scaricano. Con gli sci scarichi è possibile cambiar spigolo, ruotare gli sci, derapare. È possibile eliminare le fasi 3,

4, 5, 6; quindi risparmiare tempi ed energia. Però se il fenomeno è più rapido le forze in gioco saranno maggiori, quindi ci vuole maggiore allenamento. E la posizione « avalement » serve anche per contrastare l'accelerazione del § 4.1.5. Forse a questo punto val la pena di descrivere il tipo di curva per sola flessione.

4.1.7. Effetto delle F_i verticali in curva per sola flessione.

Figura 33: curva vista da sopra. Figura 34: le successive posizioni, ed il carico totale F_t sugli sci.



1) Diagonale di ingresso. Posizione normale: $F_t = P + F_i = 80 + 0 = 80 \text{ kg}$.

2) Inizio flessione. Ancora in diagonale cioè sci a valle più caricato, presa di spigolo verso monte; lo sciatore comincia a

flettersi rapidamente e inizia ad appoggiarsi al bastoncino. Nasce una F_i che diminuisce il carico sugli sci: alla figura 34 $F_t = 70 \text{ kg}$ ($80 \text{ kg} - 10 \text{ kg}$).

3) Cambio di spigolo. Quando lo sciatore ritiene di aver scari-

cato abbastanza gli sci sempre continuando a flettersi cambia spigolo per avere la forza laterale che incurva la sua traiettoria (vedi § 3.1.). Contemporaneamente ruota gli sci verso valle. In questa fase sfrutta nettamente il bastoncino per scaricare su di esso una parte del suo peso e quindi il carico sugli sci sarà, ad esempio:

$$\begin{aligned} \text{peso sciatore} &= P = 80 \text{ kg} \\ \text{forza d'inerz.} &= F_i = -20 \text{ kg} \\ \text{forza sul bastonc.} &= F_b = -20 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$F_t = 40 \text{ kg}$$

4) Centro curva. Continua la flessione: F_t sarà minore di P , ma non di molto, anche perché non c'è più appoggio sul bastoncino. Il ridotto carico sugli sci facilita la regolazione della presa di spigolo, la rotazione, la derapata ed è più facile ottenere il raggio di curva voluto (rispetto alle curve senza derapata).

5) Come in 4, però la flessione starà rallentando, F_i tende a zero, F_t aumenta.

6) Fine curva. Lo sciatore arresta bruscamente la flessione. Nasce una F_i positiva. Si avrà:

$$\begin{aligned} P &= 80 \\ F_i &= +20 \end{aligned}$$

$$F_t = 100$$

Questo maggior carico sugli sci aumenta la F_p ; contemporaneamente si aumenta la presa di spigolo per eliminare la derapata, e la maggior F_p accelera lo sciatore, gli sci schizzano avanti. 7) Diagonale di uscita. Ritorno a posizione normale $F_t = P = 80$ chilogrammi. In questo caso il « ritorno a posizione normale » = distensione a fine curva, è necessario per poter iniziare un'altra curva (cioè per tornare alla 1).

Osservazioni:

a) Questo sistema sembra più rapido del precedente: infatti è simile a quello usato in gara. Però scarica gli sci per un tempo minore (e li scarica anche meno), quindi ci vuol miglior

scelta del tempo, più coordinazione: in due parole è necessario « essere bravi ».

b) Questo sistema assomiglia molto allo « avalement » di Joubert, tradotto in « assorbimento »: in effetti è quasi uguale. Forse però non è giusto dire che questo è l'assorbimento, perché il termine è nato per indicare il modo di « assorbire » le gobbe (corte) in una curva: qui invece lo scopo primo è di scaricare gli sci per cambiare spigolo e solo nella seconda metà della curva lo scopo è anche quello di assorbire la diminuzione di pendenza (gobba lunga) dovuta alla curvatura della traiettoria su pendio uniforme. Probabilmente è solo questione di parole, ma sembra più chiaro dire « curva con sola flessione ».

c) Con questo sistema c'è più tendenza a cadere indietro: nella prima metà della curva, quando gli sci accelerano per l'aumento di pendenza, lo sciatore non casca indietro solo in virtù dei suoi muscoli e con l'aiuto degli « spoiler ». È vero che la flessione — il « tirare i piedi verso le natiche » — può avvenire senza spostare indietro il centro di gravità; ma non certo spostandolo avanti come converrebbe. Forse è d'aiuto una flessione « carpiata » con ripiegamento del tronco verso le cosce.

4.1.8. Osservazioni e conclusioni sulla curva con derapata.

a) Finora abbiamo parlato di « forze d'inerzia verticali », cioè parallele al raggio terrestre. Ma lo sciatore sente la « verticale apparente » dovuta alla gravità terrestre sommata alle reazioni della neve: sarebbe più esatto considerarle le « componenti verticali delle forze d'inerzia quasi-verticali ». Allora questa analisi è solo una prima approssimazione.

b) Ai § 4.1.6. e 7 abbiamo trascurato gli effetti, (§ 3) dovuti al raggio laterale degli sci. Ovviamente essi aiutano la curva: in altre parole diminuiscono la derapata delle code, rendendo la

velocità maggiore (per minor attrito).

c) Probabilmente i due sistemi di curva (senza e con derapata) si mescolano in proporzioni variabili.

Forse in uno spazzaneve lento la curva avviene principalmente per derapata: in un parallelo veloce, principalmente per effetto del raggio laterale. Ai § 4.1.6. e 7. come detto, sono trascurati gli effetti del raggio laterale degli sci. Si può concludere che la curva è possibile anche con sci a fianchi diritti? Sarebbe cosa interessante, perché forse questi sci sono più veloci.

d) La curva con derapata potrebbe essere vista come una curva senza derapata per effetto raggio laterale, durante la quale si tengono gli sci non allineati (con la traiettoria) e cioè derapati, per utilizzare il sistema di freno visto al § 4.1.1. Naturalmente frenare = minor velocità.

e) La curva con derapata è possibile anche senza scaricare gli sci (senza né distensione, né flessione). Si può provare su ghiaccio. Presumibilmente è più difficile perché dipende da una accurata regolazione della presa di spigolo e dalla capacità di ruotare gli sci con la forza a torsione delle gambe: forse poi porta a raggi di curva maggiori, quindi a V maggiore.

g) In conclusione questo tipo di curva è il più diffuso e la sua analisi porta a nuove domande: sarebbe bene studiarlo meglio.

h) Un difetto della curva con distensione, o sola flessione, è la possibilità di staccare gli sci dalla neve, con perdita di controllo e di F_p .

5. Riassunto dei tipi di curve.

Lo sci offre le seguenti possibilità:

a) Curve senza derapata (velocità massima) e senza distensione e/o flessione:

— con raggio oltre 50 m per leggera presa di spigolo: vedi § 2.3.;

— con raggio 40-70 m, per deci-

sa presa di spigolo e per sprofondamento (che diminuisce vedi § 3.2.2.).

b) Curve con derapata, frenanti, con raggio sino a 1 m (o maggiori):

— parallelo: per derapata, più presa di spigolo, più sprofondamento: quasi sempre con necessità di distensione e/o flessione per avviare la curva: vedi § 4.1.6.;

— stem: per derapata, più presa di spigolo, più sprofondamento: con una fase iniziale in cui gli sci sono in posizione spazzaneve; con successiva distensione per riunire gli sci.

— spazzaneve: per derapata più presa di spigolo più sprofondamento senza distensione e/o flessione.

c) Da ricordare il passo di giro: che però non è una curva eseguita dallo sci ma una rotazione semplicemente imposta allo sci.

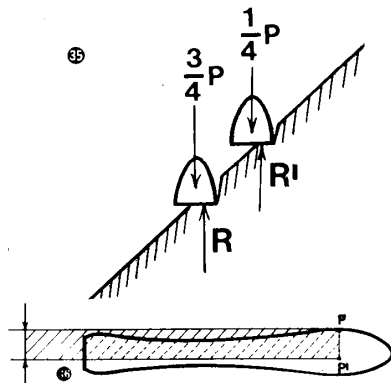
6. Diagonale.

È l'ultimo tratto della traiettoria schematizzata alla figura 1. Lo sciatore percorre una traiettoria rettilinea, con una pendenza minore di P_{max} (vedi § 4.1.5.). Questa pendenza fornisce la F_p con il sistema di § 2.2.

6.1. Condizioni degli sci. Alla figura 35 esaminiamoli visti dal davanti. Il carico sarà nella maggior parte sullo sci a valle (perché la gamba a monte, flessa per essere più corta, può portare meno carico); lo sci a valle inciderà di più la neve. La presa di spigolo è tale da avere orizzontale la tangente alla suola (tangente perpendicolare all'asse longitudinale). Le reazioni della neve, perpendicolari alla tangente, sono verticali: anche P è verticale (per definizione) quindi niente forze laterali, dunque traiettoria rettilinea. Però R è spostata a lato di P : c'è un po' di torsione.

Conviene esaminare lo sci da sopra. La figura 36 (che è fuori scala per comodità) considera solo lo sci a valle. Lo sci si muove secondo la traccia: la punta schiaccia la neve da P a P' , XI

creando una traccia piana su cui scivola il corpo dello sci.

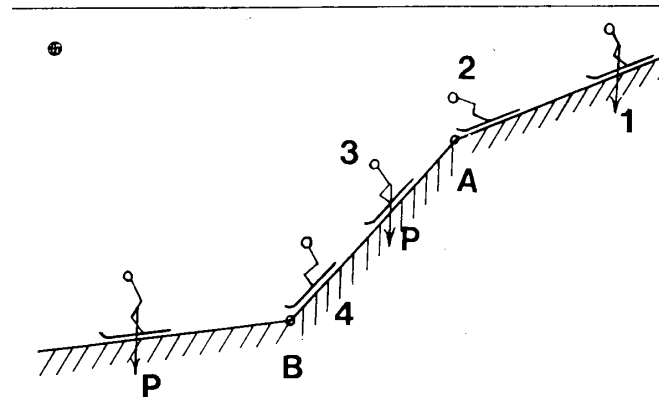


In sezione è la condizione che abbiamo già visto alla figura 35. Salta subito all'occhio che la punta è più larga del necessario, basterebbe una traccia più stretta per far passare lo sci: ciò significa sprecare energia, quindi minor velocità. Per migliorare la velocità bisognerebbe aver la punta larga come la coda, o meglio avere sci a larghezza costante. Ma forse si perde maneggevolezza: qual è allora l'optimum?

Inoltre lo schiacciamento della neve per creare la traccia, che avviene circa in P-P', sarà più o meno dissipativo di energia secondo come è la curvatura della punta. Anche la punta degli sci, quando si usano su pista, sembra esagerata: altro punto da esaminare.

6.2. Correzioni alla traiettoria. Per motivi accidentali (asperità, ecc.) la traiettoria può incurvarsi lievemente e richiedere piccole correzioni per restare rettilinea. Mentre per eseguire lievi curve verso monte possiamo impiegare il sistema visto al § 2.3. e cioè lieve presa di spigolo a monte, per eseguire

lievi curve verso valle il sistema al § 2.3. non funziona, perché la lamina a valle non tocca la neve. Bisogna quindi supporre che le lievi curve a valle siano delle curve con derapata: lo sciatore riduce la presa di spigolo sino a quando lo sci inizia a derapare, poi sposta il peso avanti e, con il sistema illustrato al § 4.1.2. si può avere rotazione degli sci. Anche questo sistema, però, consuma più energia, quindi riduce la velocità.



Ad esempio:

— per squilibrio verso sinistra, è sufficiente incurvare a sinistra la traiettoria (sistema illustrato al § 6.2.) per ottenere una forza centrifuga verso destra, e viceversa: riportando il centro di gravità corporeo « sopra » gli sci;

— inoltre sempre per squilibrio a sinistra, è sufficiente far derapare gli sci a sinistra, per riportare gli sci « sotto » al centro di gravità. Teniamo presente che questi sistemi possono anche essere usati durante le curve. Questa osservazione però ci porta all'analisi sci + sciatore, che esula dallo scopo di

6.3. Equilibrio laterale.

Sempre per cause accidentali lo sciatore può essere squilibrato lateralmente, ossia trovarsi con il centro di gravità spostato a lato degli sci: ciò comporta la caduta laterale. Lo sciatore può riequilibrarsi con forze d'inerzia ottenute spostando bruscamente le braccia e/o il tronco (le gambe no, perché devono guidare gli sci). Inoltre può usare l'appoggio sui bastoncini. E però possibile riequilibrarsi anche con l'uso degli sci.

questa nota.

6.4. Equilibrio longitudinale su pendio disuniforme.

Facciamo una breve analisi della figura 37, che schematizza le pendenze incontrate in una diagonale rettilinea, ovviamente su pendio non uniforme.

A e B sono i punti nei quali la pendenza cambia. Lo sciatore arriva verso A con la velocità definita al § 2.2.: velocità tale che la Fp sia equilibrata dalle resistenze (attrito, aria, schiacciamento neve). In prima posizione normale, avremo il centro di gravità verticalmente sopra i piedi (supponiamo verticalmen-

te sopra alla parte più larga del piede, dove cominciano le dita). Ovviamente dopo A ci sarà accelerazione, dovuta alla maggior pendenza che aumenta Fp (vedi § 2.2.). Quindi prima di A lo sciatore sposterà avanti il suo centro di gravità come in 2 per prepararsi alla accelerazione che sente come spinta in avanti sui piedi. Proseguendo dopo A, si arriverà a una nuova velocità costante, (maggiore di prima) in 3. Ma se lo sciatore desidera di avere il centro di gravità come in 1 (nello stesso punto dei piedi) ne consegue che per la maggior pendenza del pendio, e quindi degli sci, ci sembrerà inclinato indietro rispetto agli sci, il che è esatto; ma in realtà lo sciatore ha il corpo nella stessa posizione di 1, e sono gli sci ad essere più inclinati (quindi anche i piedi).

Poiché dopo B ci sarà decelerazione, lo sciatore in 4 si prepara, con posizione ancor più arretrata, alla spinta indietro che sentirà, dopo B, sui piedi. Questa posizione è un'assorbimento nel senso usato sinora per la parola.

Dopo B avremo una certa nuova velocità di regime, minore di quella fra A e B, con il solito equilibrio fra Fp e resistenze. È da notare che, per inerzia, il carico sugli sci varia: sino ad A sarà uguale al peso dello sciatore. Dopo A, durante l'accelerazione, sarà minore, perché per inerzia lo sciatore tende a staccarsi dalla neve. Nel tratto a velocità costante fra A e B il carico sarà ancora uguale al peso; dopo B sempre per inerzia, lo sciatore sarà schiacciato sulla neve, quindi maggior carico sulla neve. Ovviamente sarà conveniente effettuare una distensione dopo A e una flessione dopo B (cioè assorbimento).

FINE