E - SCI (Elucubrazioni sullo SCI) - 1

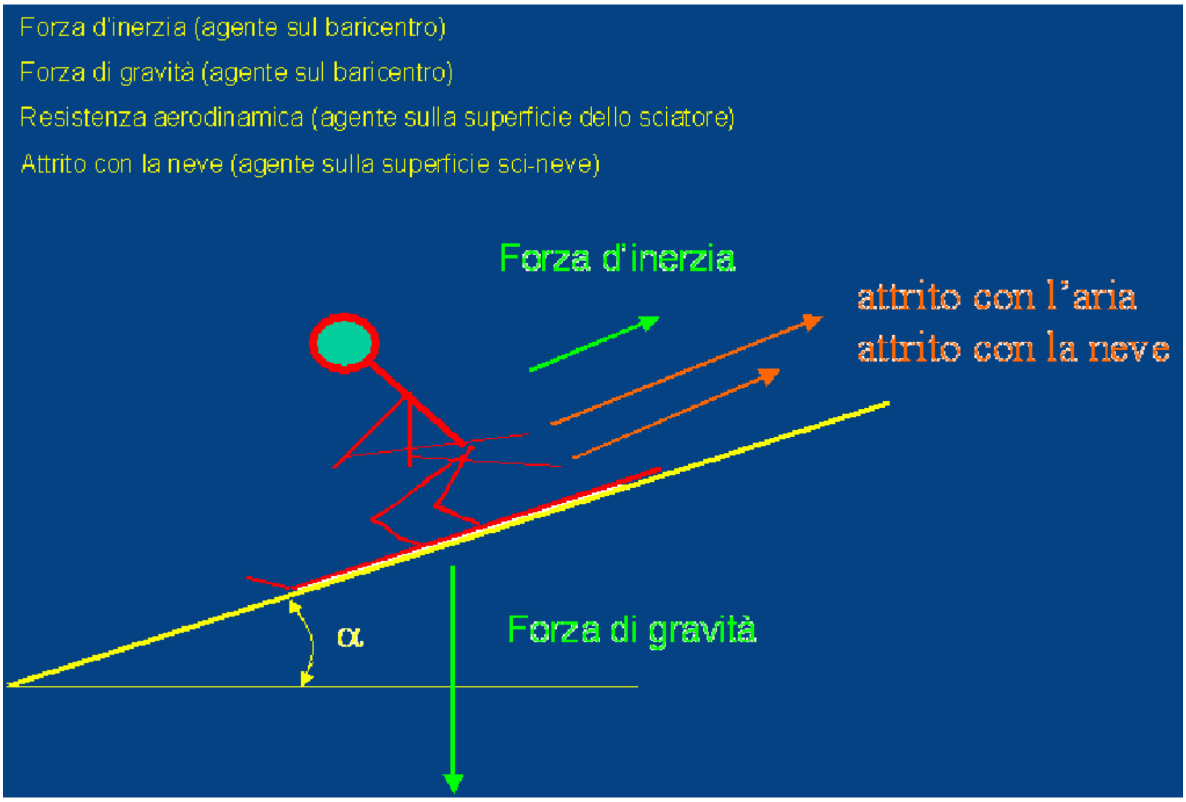
Avete cliccato il tasto E-SCI pensando di uscire, invece qui troverete motivi di riflessione sciistica.
Lo scopo di questa pagina è di rispondere ad alcune questioni spesso dibattute fra i genitori di noi atleti praticanti lo sci agonistico e per sfatare la credenza che sono avvantaggiato perché sono pesante.
I calcoli e le interpretazioni sono tratti dalla letteratura e da siti sciistici europei e universitari (U.S.A.) citati alla fine. C'è poi un'originale interpretazione dello sci come situazione di "non equilibrio" che potrebbe interessarvi.

Gli sciatori pesanti vanno più forte?

A parità di condizioni la risposta è si, ma dipende da quanto forte si sta andando.
Consideriamo le forze che agiscono su uno sciatore:

- forza d'inerzia;
- forza di gravità;
- attrito sci – neve (per ora consideriamolo di tipo coulombiano);
- resistenza aerodinamica (consideriamo solo la resistenza di forma, trascurando quella d'attrito).

La figura che segue schematizza la situazione.



Analizziamo le componenti di queste forze che agiscono parallelamente al pendio:

- forza d'inerzia = m A
- forza di gravità = m g sen (α)
- forza d'attrito con la neve = μ m g cos (α)
- resistenza aerodinamica = C_d S ρ $V^2/2$

dove:
- m = massa dello sciatore
- A = accelerazione dello sciatore
- α = pendenza della pista
- μ = coefficiente d'attrito dinamico sci – neve
- g = accelerazione di gravità
- C_d = coefficiente di resistenza aerodinamica
- S = superficie frontale dello sciatore
- ρ = densità dell'aria
- V = velocità dello sciatore

La forza di gravità la conoscono tutti. Le forze d'inerzia sono nulle se lo sciatore è fermo o si muove a velocità costante. L'attrito con la neve e la resistenza aerodinamica si oppongono entrambe alla forza di gravità. Mi preme far notare che, al contrario di quanto dice il testo tecnico su cui basano la preparazione i maestri di sci italiani, la resistenza aerodinamica dipende dal quadrato della velocità.
Equilibrando tutte queste forze si ottiene l'equazione del moto:

$$m A = m g \text{ sen } (\alpha) - \mu m g \cos (\alpha) - C_d S \rho V^2/2$$

e dividendo per la massa:

$$A = g \text{ sen } (\alpha) - \mu g \cos (\alpha) - C_d S \rho V^2 / 2 m$$

Il solo termine che dipende dalla massa è l'ultimo dove la massa appare al denominatore: questo termine si oppone alla gravità perché non può essere negativo.
E' quindi piuttosto chiaro che i benefici (o gli svantaggi) di essere uno sciatore pesante dipendono da che cosa succede al termine (C_d S / m) aumentando la massa.
E' anche abbastanza chiaro che la sezione frontale di uno sciatore aumenta con le sue dimensioni, ma sembra che il termine C_d S aumenti più lentamente di m. Perciò uno sciatore più pesante dovrebbe andare più forte. Dico dovrebbe perché:
- Uno sciatore pesante ha più difficoltà a girare, soprattutto se il peso non è dovuto a muscoli nelle gambe;
- L'attrito sci neve è stato schematizzato come coulombiano. In realtà questo attrito nasce nella pellicola d'acqua di fusione che si forma per attrito tra lo sci e la neve, come detto molto bene nel libro americano "La fisica dello sci: sciando al punto triplo dell'acqua" (vedi in fondo). Questo attrito dipende dalla temperatura e morfologia della neve, dall'idrorepellenza della soletta dello sci e da altri fattori: probabilmente questo attrito dipende dalla forza normale allo sci (e quindi dalla massa dello sciatore) "meno" di quello coulombiano e quindi rimette in gioco anche il termine μ g cos (α).

Se lo sciatore sta andando forte?

I dati che seguono (da Stuart Marlatt in Rec.Climbing, edito da Eyre) misurano l'effetto del cambiamento del termine (C_d S / m). I calcoli sono stati fatti per un corpo umano in caduta libera verticale (praticamente uno sciatore che sta cadendo in un crepaccio) , ma gli effetti sul termine (C_d S / m) sono gli stessi che per uno sciatore sulla pista.
Per determinare la velocità finale (credo che si chiami asintotica) del corpo che cade occorre integrare l'equazione del moto (ad esempio col metodo numerico di Runge-Kutta del secondo ordine):

$$dz/dt = V$$

$$dV/dt = g(z) + C_d S \rho (z) V^2/2 m$$

dove:
- z è la quota;
- V è la velocità di caduta

- ❄ g è l'accelerazione di gravità (funzione di quota e latitudine);
- ❄ ρ è la densità dell'aria (funzione della quota, della temperatura, della pressione)
- ❄ C_d è il coefficiente aerodinamico
- ❄ S è la superficie frontale dello sciatore
- ❄ m è la massa del corpo che cade

Si suppone che la caduta avvenga da 1.000 metri, alla latitudine di 41° nord. I tempi e le velocità di caduta sono stati calcolati per tre differenti posizioni del corpo e, per avere un termine di confronto, per una sfera liscia per la quale il valore di C_d S è disponibile con precisione sia da metodi analitici che da prove in galleria aerodinamica (S. Hoerner, "*Fluid Dynamic Drag*").

- ❄ C_d S = 0,11 per il corpo umano in posizione verticale (minima sezione frontale in caduta libera);
- ❄ C_d S = 0,84 per il corpo umano in posizione orizzontale (massima sezione frontale, paragonabile ad uno sciatore che scia in posizione eretta);
- ❄ C_d S = 0,46 per il corpo umano in posizione raccolta (paragonabile ad uno sciatore "a uovo")

I risultati sono i seguenti:

Posizione	tempo di caduta [s]	velocità all'impatto (m/s)
Sfera liscia	15,76	105,8 (380,9 km/h)
Corpo in verticale	16,44	95,3 (343,1 km/h)
Corpo in orizzontale	28,89	37,4 (134,7 km/h)
Corpo raccolto	23,02	50,7 (182,5 km/h)

Se lo sciatore sta andando piano?
Con riferimento alle osservazioni precedenti, la determinazione di quanto vada più forte uno sciatore pesante quando la velocità è bassa ci riconduce alla seguente questione:

quanto è grande il termine (C_d S ρ V^2 / 2m) rispetto agli altri termini dell'equazione del moto?

Supponiamo che lo sciatore sia in caduta libera verticale, cioè non ci sia attrito con la neve e α = 90°.
Allora si può calcolare C_d alla velocità finale (dove A = 0, cioè lo sciatore non accelera più):

$$C_d = 2\ g\ m\ /\ (S\ \rho\ V_{fin}^2)$$

dove V_{fin} è la velocità finale.

Sostituendo questa espressione di C_d nell'equazione di equilibrio delle forze agenti sullo sciatore si ha:

$$A = g\ \text{sen}\ (\alpha) - \mu\ g\ \cos\ (\alpha) - g\ (V\ /\ V_{fin})^2$$

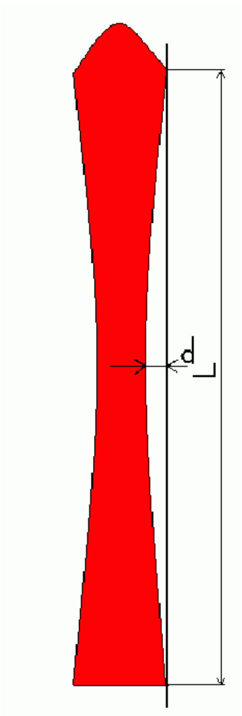
L'accelerazione dipende allora da quanto lo sciatore va forte rispetto alla sua velocità finale, cioè dal rapporto (V / V_{fin}) e abbiamo visto che V_{fin} dipende dalla sezione frontale cioè dalla posizione dello sciatore.
Ad esempio, se lo sciatore sta sciando a 1 / 10 della sua velocità finale di caduta libera su un pendenza di 20°, si ha che $(1/10)^2$ = 0.01, mentre sen(20°) = 0,342, cioè l'effetto della pendenza e della gravità è 34 volte quello dovuto alla massa.
<u>La conclusione è che, alle velocità a cui noi ragazzi sciamo in gara, gli effetti della massa dello sciatore sono trascurabili rispetto alle altre variabili in gioco (tecnica sciistica, sciolina, scorrevolezza cioè "glisse", nota caratteristica di tutti i discesisti, ecc.).</u>
L'effetto della massa si fa sentire nei tratti di pista con pendenza ridotta e velocità molto elevata, i cosiddetti tratti "di scorrimento" dove però conta molto anche saper tenere gli sci piatti e farli scorrere.
Di quanto detto si ha evidenza in alcune gare di discesa di Coppa del Mondo dove i cosiddetti scivolatori ("glisseurs"), che generalmente sono anche piuttosto pesanti, hanno buone possibilità di vittoria.

Qual'è il raggio di una curva condotta ideale? In Slalom Gigante si va più forte con sci molto sciancrati ?

Raggio della sciancratura di uno sci

Il raggio della sciancratura di uno sci è una sua caratteristica geometrica e viene determinata dal progettista. Per calcolare il raggio della sciancratura occorre considerare un settore circolare, cioè occorre disegnare qualcosa di simile alla fetta di una torta.

Il calcolo ha bisogno delle seguenti considerazioni:



- Lo spigolo dello sci forma l'arco di circonferenza che delimita il settore circolare, cioè è il bordo curvo della fetta di torta;
- La linea di contatto è la retta tangente allo sci che lo tocca in due punti, uno nella sua parte più larga della punta e l'altro in quella della coda; il segmento di contatto è la parte della linea di contatto compresa fra questi due punti; il segmento ha lunghezza L;
- La profondità della sciancratura dello sci è la massima distanza fra lo spigolo e la tangente allo sci e la chiamiamo d;
- Il raggio della sciancratura si calcola assumendo che lo spigolo dello sci sia un arco di circonferenza, cosa non sempre vera. In questa prima fase lo sci è considerato senza centina, cioè come se la soletta fosse piatta.

Usando le caratteristiche geometriche dello sci, si possono definire:

- L = lunghezza del segmento di contatto;
- d = profondità della sciancratura;
- Rsc = raggio di curvatura della sciancratura

Allora il raggio della sciancratura è:

$$Rsc = \frac{(L^2 / 4 + d^2)}{2\,d}$$

Adesso potete calcolarvi facilmente il raggio della sciancratura dei vostri sci (non sempre è indicato chiaramente dal costruttore)

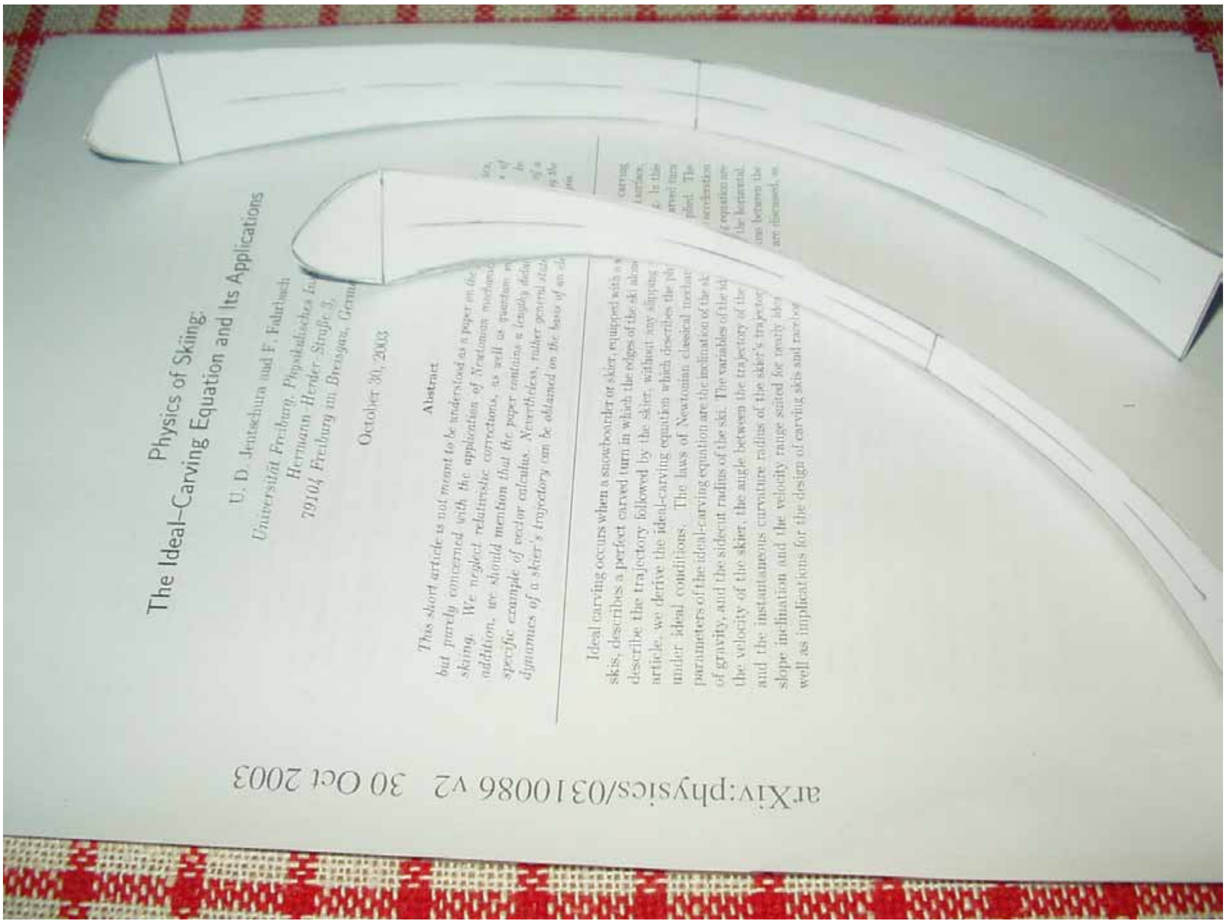
Raggio della curva condotta

Il raggio della curva condotta percorsa dallo sci è diverso dal quello della sua sciancratura e dipende dall'angolo di spigolo usato dallo sciatore[1] e da quanta centina negativa assume lo sci durante la curva. Comunque non è difficile calcolare con buona approssimazione il raggio di una curva condotta ideale. Geometricamente, la curva condotta deriva dalla composizione di due curve, la sciancratura dello sci e la stessa sciancratura deformata quando lo sci assume una centina negativa a causa della pressione data dallo sciatore e della cedevolezza della neve. Per trovare queste curve possiamo immaginare uno sci sciancrato come un segmento di cilindro e la pista come un piano inclinato. L'arco che lo sci percorre è l'intersezione del cilindro col piano inclinato.

Per capire meglio cosa intendo dire, prendete due pezzi di cartoncino rettangolari: con le forbici tagliate un lato di uno dei cartoncini seguendo una leggera curva sul primo cartoncino e una curva più accentuata

[1] nei libri italiani di didattica sciistica questo angolo è chiamato "angolo di presa di spigolo": io preferisco chiamarlo "angolo di spigolo" perché i miei sci non sempre fanno presa e a volte derapano!

sul secondo cartoncino. Per capire come interviene la centina negativa, occorre tenere il lato “sciancrato” del cartoncino contro un piano in modo che il bordo (che rappresenta la lamina dello sci) sia tutto a contatto col piano e verificare come cambia il raggio del cilindro in funzione della sciancratura e dell’angolo formato tra il cartoncino ed il piano (io ho fatto due piccoli sci di cartone, vedi foto).



Occorre quindi calcolare il raggio del cilindro e questo dipende dalla geometria dello sci. In prima approssimazione possiamo ipotizzare che lo sci non si deformi a torsione (cosa non rigorosamente vera). Per valutare il raggio del cilindro, bisogna misurare la distanza (indicata d nella figura precedente) tra la lamina a metà dello sci e la tangente allo sci nei suoi due punti di maggior larghezza (uno in punta e uno in coda). Occorre poi proiettare la distanza d sul piano inclinato di sciata per un dato angolo di spigolo. Le variabili sono:

- ❄ φ = angolo al centro sotteso dall’arco di sciancratura dello sci, cioè ($Rsc * \varphi$) è la lunghezza della lamina dello sci dal punto di maggior larghezza della spatola a quello della coda;
- ❄ Cn = centina negativa, cioè la distanza tra la soletta dello sci quando questo è piatto e la soletta stessa quando lo sci è inarcato dallo sciatore in curva;
- ❄ α = angolo di spigolo (uguale all’angolo di inclinazione della tibia dello sciatore rispetto al piano di sciata);
- ❄ θ = angolo di inclinazione del piano di sciata (pendenza della pista);
- ❄ Rcil = raggio del cilindro definito sopra;
- ❄ Rcur = raggio della curva condotta dallo sciatore.

I risultati del calcolo sono:

- ❄ $d = Rsc * (1-\cos(\varphi/2))$
- ❄ $Cn = d * \cot(\alpha - \theta)$
- ❄ $Rcil = (L^2 + 4 * Cn^2) / (8 * Cn)$

e il raggio della curva condotta è:

$$❄ \ Rcur = Rcil * sen(\alpha + \theta)$$

Interpretazione della formula
Le formula sembra un po' oscura, ma la sua interpretazione è interessante e facile.
La formula dice matematicamente che uno sci con una sciancratura profonda percorre curva più strette a parità di angolo di spigolo e di pendenza della pista (come è ovvio).
Confrontiamo due sci differenti, uno molto sciancrato e uno "convenzionale" (cioè del tipo che usava mio padre 20 anni fa) a parità di angolo di spigolo e di pendenza della pista (per semplificare i risultati). Lo sci sciancrato deve deformarsi molto affinché la sua lamina aderisca interamente alla neve quando è inclinato. In gergo sciistico lo sci deve assumere una forte centina negativa affinché la sua lamina aderisca interamente alla neve. Questo crea un raggio di curvatura piccolo perché lo sci è inflesso e assume la forma di un arco accentuato.
Lo sci con una sciancratura minore può essere deformato meno prima che la sua lamina aderisca completamente sulla neve. Questo fa si che il raggio della curva che percorre è più grande perché non è possibile deformarlo di più.
Il raggio della curva condotta deriva quindi da una combinazione di sciancratura, angolo di spigolo e centina negativa assunta dallo sci quando è deformato dallo sciatore premendolo mentre è inclinato.
E' anche interessante notare che il raggio della curva dipende dalla pendenza della pista.

C'è un unico raggio di curva condotta per un dato sci?
No. Come detto il raggio della curva dipende dall'angolo di spigolo e dalla deformazione assunta dallo sci. Questa è un'affermazione ovvia per qualunque sciatore.
Ma allora perché i costruttori di sci non ci hanno pensato prima?
Azzardo qualche ipotesi personale, ma bisognerebbe verificarla con qualcuno della *Fischer* o della *Rossignol*.

❄ Dal momento che per fare curve strette lo sci deve deformarsi molto, occorre costruire lo sci in modo che sia molto deformabile a flessione e poco a torsione, due esigenze non facili da coniugare. Se lo sci si torce molto, diminuisce l'angolo di spigolo in punta e in coda rispetto a quello della parte dello sci sotto lo scarpone. Questo ha il duplice effetto di aumenta il raggio della curva e di uscire dalla condizione di conduzione perché lo sci sotto lo scarpone avrà un certo angolo di spigolo mentre sulla spatola e sulla coda assumerà un angolo di spigolo minore a causa della torsione: raggi di curva diversi = slittamento di una parte dello sci.

❄ Dal punto di vista strettamente strutturale la miglior soluzione per ottenere uno sci morbido a flessione e rigido a torsione è quello di adottare una sezione a Ω (omega): è quanto fa da anni la *Dynastar* (ve li ricordate gli "*Omeglass*" ?).

❄ Con i materiali di alcuni anni fa non era possibile costruire sci flessibili esenti da vibrazioni. Quindi i costruttori, soprattutto per gli sci di gamma alta o da gara, optavano per soluzioni costruttive piuttosto rigide che consentivano di tener sotto controllo le vibrazioni ma che erano evidentemente incompatibili con le grandi deformazioni flessionali richieste ad uno sci sciancrato. Ricordate le curve in appoggio sul solo sci esterno dei discesisti e gigantisti di molti anni fa: con questo espediente l'atleta aveva, fra l'altro, l'opportunità di deformare maggiormente a flessione lo sci (in pratica caricandone uno solo) facendogli condurre curve più chiuse. Con gli sci di oggi, molto più flessibili, le curve condotte sono diventate accessibili anche alle basse velocità e agli sciatori non proprio atletici (ai pensionati dell'*ENEL* per intenderci, come direbbe un mio simpatico allenatore di alcuni anni fa…): è facile infatti deformare a flessione uno sci moderno anche senza esercitare forti pressioni su di esso.

❄ Mi sembra di poter dire, ma non ne sono sicuro, che l'idea di sci fortemente sciancrato dovrebbe essere venuta ai costruttori di sci osservando le curve degli "snowboardisti" e le relative forti deformazioni delle tavole quando vengono premute con entrambi i piedi ad angoli di spigolo molto elevati. C'è poi voluto un po' di tempo per trasferire questa tecnica allo sci, sia per ragioni tecnologiche (le sollecitazioni su uno sci relativamente lungo, stretto in centro, largo di spatola e di coda sono molto più gravose rispetto ad una tavola, decisamente più larga e corta (in definitiva molto più tozza), che per ragioni tecniche legate all'evoluzione del gesto atletico (confrontate le curve di un gigantista di 15 anni fa con quelle di uno di oggi e vedrete com'è cambiata radicalmente la tecnica sciistica).

❄ C'è un'ultima osservazione che rimette in discussione tutta la teoria fatta finora: una trattazione geometrica più generale e più accurata di quella fatta fino qui porta a definire un campo di velocità dello sciatore molto ristretto alle quali è possibile effettuare una curva teoricamente condotta con gli sci cosiddetti "carving" di oggi. Per "ristretto" intendo dire fino a circa 40 km/h, oltre si derapa (questa affermazione deriva da un'analisi matematicamente piuttosto pesante, che mi riservo di presentare in questa pagina quando l'avrò capita bene). Questo ha alcune conseguenze:

- a livello agonistico gli sci con notevole sciancratura devono essere confinati allo slalom; quindi non pensiate che per andare forte in GS o SG occorrano sci molto sciancrati: l'anno scorso ho visto con orrore (e con un po' di sollievo, dal momento che erano automaticamente fuori gara) alcuni atleti del *Mondolè Ski Team* utilizzare sistematicamente sci da Slalom nelle gare di Gigante !!!; quello che intendo dire in pratica è che gli sci molto sciancrati (da SL) sono inadatti per le curve larghe dei giganti filanti in quanto, per piccolo che sia l'angolo di spigolo dato dallo sciatore, occorre comunque uno slittamento verso l'esterno dello sci per percorrere la curva voluta. Per dirlo ancora più chiaramente, con qualunque sci è impossibile percorrere una curva condotta di raggio superiore a quello della sciancratura.
- per le discipline veloci, compresi i giganti filanti, è meglio usare sci piuttosto "dritti": e questa è un'affermazione che può stupire molti ed è contro-tendenza, ma andatevi un po' a guardare le meravigliose curve condotte da Michael Von Grueningen con i suoi *Rossignol Excel* degli anni '90 (gli sci avevano sciancratura ridicola rispetto a quelli attuali). Mi sembra che oggi *Atomic* stia percorrendo questa strada con notevole successo, almeno a livello di Slalom Gigante e Super G di Coppa del Mondo;
- affermazione ancora più radicale e provocatoria: l'atleta in grado di eseguire curve condotte di un dato raggio con la sciancratura minore è quello più veloce, oltre che quello più dotato fisicamente (questa è una mia opinione personale: chi non è d'accordo, e saranno molti, alzi la mano e mi mandi un'e-mail che ne parliamo). Ovviamente questo sciatore è anche quello che rischia di più perché ha bisogno di angoli di spigolo più elevati.

Queste considerazioni (eccetto quelle personali che sono facilmente riconoscibili) sono tratte da:

- un libro molto chiaro e piacevole che è stato scritto per lettori al livello di uno studente liceale e utilizza una trattazione analitica pesante solo occasionalmente: *"The physics of skiing: skiing at the triple point"* (La fisica dello sci: sciando al punto triplo (dell'acqua)) di David Lind and Scott P. Sanders, Woodbury, N.Y., American Institute of Physics, 1997;
- il sito della facoltà di Matematica dell'Università dello UTAH (U.S.A.).

E - SCI (Elucubrazioni sullo SCI) - 2

L’interpretazione classica della meccanica dello sci può sembrare a molti un po’ troppo deterministica. La tecnica sciistica sembra relegata a pura questione fisico-matematica e tutto sembra analizzabile con precisione semplicemente scrivendo le equazioni di equilibrio fra le forze che agiscono sullo sciatore.
Ma il mondo è bello perché è vario.
Ho trovato sulla rete questa interessante interpretazione della tecnica sciistica di Ian Beveridge della scuola di Sci di Val d’Isére. L’articolo, che ho integrato un po’ con alcune considerazioni personali, ha qualche punto oscuro che mi riprometto di chiarire in futuro. L’articolo fa parte di una serie che tratta l’emergente natura “confusa” dello sci “*The emergent fuzzy nature of skiing*”.
Questa interpretazione che definirei “creativa”, vede le cose da un punto di vista originale, sostenendo che la sciata consiste di condizioni di “non equilibrio” (l’autore scrive “nonequilibrio” tutto attaccato) e mettendo in discussione molti punti fermi della moderna didattica dello sci. Alcune affermazioni sono condivisibili, altre difficili da capire.

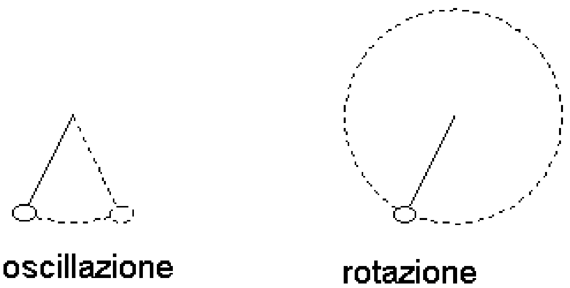
❄ **Archi Aurei – Un’introduzione al Nonequilibrio**
L’eccellenza appartiene a tutti

Quando vediamo un gigantista di classe mondiale percorrere una curva condotta con potenza e precisione, non possiamo che esserne impressionati.
Quello di cui siamo testimoni è uno sciatore in una condizione estrema di “lontananza dall’equilibrio”. In questa condizione prendono il sopravvento nuovi princìpi e quello che ci impressiona è la loro potenza, la loro accuratezza e un’apparente disprezzo delle leggi della natura. Lo scopo di questo articolo è di introdurre il “nonequilibrio” e identificare alcuni dei princìpi organizzativi associati ad esso.

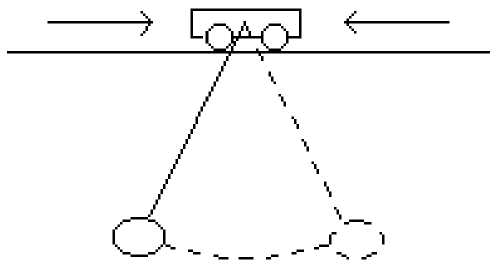
Il Sistema
Lo sciatore, l’equipaggiamento e l’ambiente circostante si combinano insieme per formare un “sistema”. Il sistema è da considerarsi “aperto” perché prende energia dall’esterno (gravità) e la perde (dissipa) in attrito. Questa perdita di energia è chiamata “dissipazione”. Un’altra peculiarità del sistema è il “nonequilibrio” stesso. Nello sci questo è basilare perché qualunque cambiamento di velocità o direzione è un’accelerazione e costituisce un “nonequilibrio”. Tuttavia, come vedremo, il concetto di nonequilibrio è più complicato e allora cominciamo per ora a usare il termine “lontano da condizioni di equilibrio”, come detto sopra per lo sciatore di Coppa del Mondo.
Prima di continuare, ricapitoliamo quanto detto. Abbiamo un sistema che è:

- ❄ aperto;
- ❄ dissipativo;
- ❄ lontano dall’equilibrio.

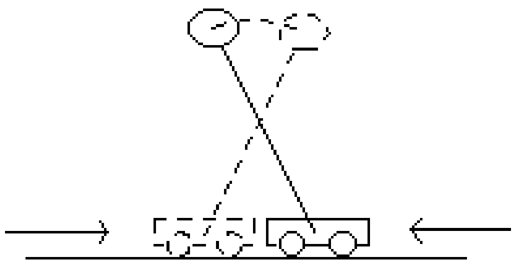
Per capire alcuni degli aspetti del nonequilibrio abbiamo bisogno di un modello esemplificativo. Il migliore modello sembra essere un semplice pendolo formato da un’asta con una massa applicata ad un’estremità e una cerniera all’altra estremità. Ci sono due movimenti possibili per un pendolo: uno è l’oscillazione, l’altro è la rotazione.



Possiamo rendere il nostro modello di pendolo un sistema aperto applicando una forza oscillante all’estremità dove c’è la cerniera (che chiameremo pivot) per tenerlo in movimento.



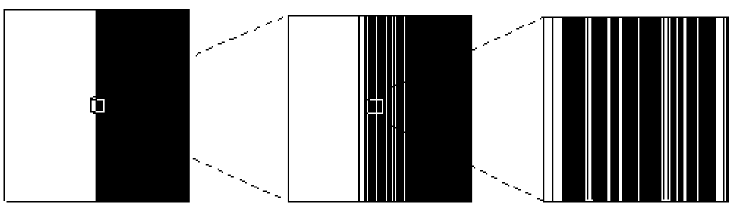
Se il pendolo oscilla fino alla posizione verticale (come la lancetta dell'orologio alle 12), si troverà in una situazione di "confine" fra i due possibili tipi di movimento: oscillazione e rotazione.
Dosando opportunamente la forza applicata al pivot possiamo mantenere il pendolo vicino a questa condizione di "confine", come esemplificato nella figura che segue, dove il pendolo è "sottosopra" e per tenerlo così facciamo un esercizio di equilibrismo.



Alcuni avranno notato che questo modello è anche alla base di alcuni "simulatori di sciata" utilizzanti molle o elastici (e la forza delle gambe) per tenere la base di appoggio dei piedi in movimento (provate a frequentare la sala giochi di Deux Alpes per fare qualche esperimento).
La forza applicata al pivot è la quarta caratteristica del nostro sistema: questa forza è una retroazione (*feedback*) non lineare. Ricapitoliamo le caratteristiche del sistema:

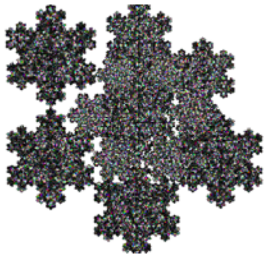
❄ aperto
❄ dissipativo
❄ lontano dall'equilibrio
❄ dominato dalla retroazione

La ragione per la quale la retroazione non è lineare sarà chiarita nel seguito.
Occorre adesso considerare più in dettaglio la zona di "confine" tra oscillazione e rotazione perché ha delle caratteristiche molto speciali. Questo confine risulta essere confuso (*fuzzy*) nel senso che non è un confine netto e ben definito.
Il diagramma che segue rappresenta la frequenza della forza applicata al pivot in funzione della posizione del pendolo. Non fatevi impressionare: considerate l'area bianca come una condizione di oscillazione e l'area nera come rotazione, con un ovvio confine al centro.


-----------------------------------> frequenza

Se ingrandiamo questo diagramma nella zona di confine possiamo vedere che il confine non è netto come sembra ma è costituito da sottili bande bianche e nere irregolari. Ingrandendo un'altra volta otterremo un risultato identico.
Ripetendo all'infinito questo ingrandimento otterremo sempre diagrammi molto simili (ma non identici).
Questo perché quello che stiamo vedendo è un "frattale" che è un esempio di "caos deterministico".
Questa è la ragione per la quale la nostra retroazione non è lineare.
Quanto descritto è una caratteristica comune in natura delle "zone di confine" ed è la ragione per cui ogni fiocco di neve su cui sciamo è simile agli altri ma è unico nella sua complessità.
La figura di un fiocco di neve che segue è stata ottenuta con un computer domestico usando un algoritmo

frattale.

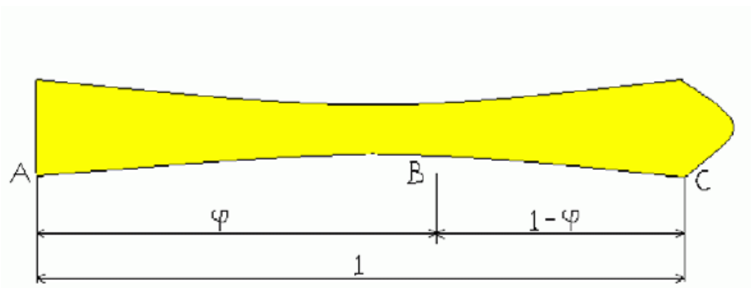


Tuttavia il caos non è una nostra aspirazione (direi che, nel caso dello sciatore, il caos corrisponde ad una bella caduta…), semplicemente vogliamo avvicinarci il più possibile alla “soglia del caos”.
Il nostro sistema caratterizzato dal nonequilibrio ha già rivelato alcune peculiarità sorprendenti, ben oltre quelle delle forze ed accelerazioni che agiscono sullo sciatore schematizzate dalla meccanica classica. Ma le cose più sorprendenti le troviamo sulla soglia del caos. La soglia del caos è occupata matematicamente da un numero. Questo numero è lui stesso un frattale e ha alcune proprietà speciali. Il numero è 1,6180339887499…ed è chiamato “Numero Aureo”.

La sezione aurea
La Sezione Aurea è sempre stata avvolta da un alone di mistero. Essa è conosciuta da migliaia di anni ma solo recentemente è stata introdotta nello studio dei sistemi dinamici in condizioni di nonequilibrio.
Si tratta di un rapporto (una proporzione) che è ritenuta esteticamente piacevole ed è utilizzata da tempo immemorabile nella pittura, in architettura e nella composizione musicale. Le stesse proporzioni umane e quelle di molte manifestazioni della natura sono auree. E sembra avere qualche risvolto anche nella pratica dello sci…
Prima di vedere come interviene nel nostro “sistema sciatore”, vediamo di cosa consiste la media aurea.
Ci sono tre modi di visualizzare la media aurea:

- ❄ Matematico;
- ❄ Come una serie di numeri;
- ❄ Geometrico.

Prima di tutto vediamo il modo matematico, cioè diamo una definizione rigorosa di numero, sezione, media, rettangolo e triangolo aurei (da G. Carolla “Il numero aureo ed i suoi sviluppi. Perimetri, aree e serie infinite nel rettangolo, nel triangolo (aurei e non) e nel quadrato”).
Nella figura che segue uso uno sci solo per gioco, in realtà la cosa importante è la lunghezza dei segmenti.



La figura con lo sci giallo mostra la proporzione detta aurea.

Dalla proporzione aurea

❄ $|AC| / |AB| = |AB| / |BC|$

si ha la media geometrica, detta aurea:

❄ $|AB| = \sqrt{|AC|\ |BC|}$

nella quale, sostituendo $|AB| = x$, $|AC| = 1$, $|BC| = 1-x$ si ha:

❄ $X^2 + x - 1 = 0$

Che risolta da i seguenti risultati:

❄ $|AB| = x_1 = (-1 + \sqrt{5}) / 2 = 0{,}61803398\ldots$

❄ $|x_2| = |(-1 - \sqrt{5}) / 2| = 1{,}61803398\ldots$

rispettivamente detti numero aureo o piccola sezione aurea o rapporto aureo (da $|AC| / |AB|$) cioè

$\varphi = 0{,}61803398$

e grande sezione aurea $\Phi = 1 + \varphi = 1{,}61803398\ldots$ detto anche rapporto aureo da $\Phi / 1 = 1 / \varphi$ o media aurea.

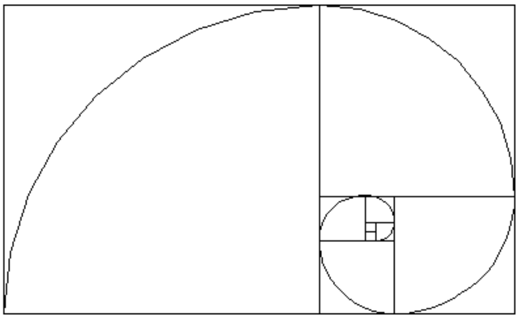
Inciso storico. Nei secoli passati per indicare la sezione aurea si usava la lettera greca τ (tau) ma all'inizio del secolo XX il matematico americano Mark Barr propose, come simbolo, l'altra lettera φ (phi), in omaggio al grande scultore ateniese Fidia che ebbe sempre presente la proporzione aurea nel realizzare le sue sculture e nel progettare il Partenone di Atene.
La teoria delle proporzioni in architettura ha radici molto profonde che affondano probabilmente nei contatti con l'antica civiltà egizia, ma è nella Grecia del VI secolo a.C. che ne viene definita la base dottrinale, con l'introduzione da parte di Pitagora della filosofia matematica.
In greco il concetto di relazione si esprimeva in termini matematici come rapporto a : b. Dalla combinazione di due o più relazioni si originava la proporzione, espressa dall'equazione generale a:b=c:d (proporzione disgiunta), oppure, nel caso in cui le due grandezze intermedie b e c fossero state uguali, a:b=b:c (proporzione continua).
Pitagora e i suoi discepoli individuarono tre tipi principali di proporzione:
- la proporzione aritmetica $c - b = b - a$ (es: 1, 2, 3),;
- la proporzione geometrica $a / b = b / c$ (es: 1, 2, 4),;
- la proporzione armonica $(b - a) / a = (c - b) / c$ (es: 2, 3, 6),.

A queste tre proporzioni corrispondono, rispettivamente, la media aritmetica $b=(a+c)/2$, la media geometrica $b=\pm\sqrt{ac}$, e la media armonica $b=2ac/(a+c)$. Fine dell'inciso storico.

Tornando a Φ, esso possiede due qualità: proporzione aritmetica (lineare) e proporzione geometrica (non lineare) e le possiede entrambe insieme: questo è rappresentato dalla relazione $\Phi + 1 = \Phi \times \Phi$.

Vediamo il secondo modo di visualizzare Φ: con una serie di numeri. Se fate una lista di numeri cominciando da 0, 1,… dove ogni nuovo termine della serie è la somma dei due precedenti, si ottiene la serie 0, 1, 1, 2, 3, 4, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144… Se dividete un qualunque numero della serie per quello precedente ottenete un rapporto che tende a Φ. E tanto più la serie è lunga, tanto più questo rapporto si avvicina a Φ (21/13 differisce da Φ solo di 0,003). Questo significa che ogni numero della serie può essere ottenuto sia moltiplicando moltiplicandolo il precedente per Φ che sommando i due numeri precedenti.

Infine il terzo modo di visualizzare Φ è quello geometrico, e da questo si comincia a capire perché interviene nello sci. Il rettangolo aureo è ogni rettangolo che ha le dimensioni che sono nei rapporti $|AC| / |AB| = |AB| / |BC|$. Tale rettangolo è interessante non solo matematicamente, ma anche artisticamente ed è inoltre presente sovente in natura: già noto agli architetti della Grecia del V secolo a. C. per la sua, armonia, è dimostrato in psicologia che si tratta del rettangolo più bello ed appagante per l'occhio umano.
Un rettangolo aureo può essere generato naturalmente partendo da un quadrato 1 x 1 per successive rotazioni che formano rettangoli di dimensioni 1x1, 2x1, 3x2, 5x3, 8x5, 13x8, 21x13, 34x21 (…e guardate che bella curva descrive il vertice…)

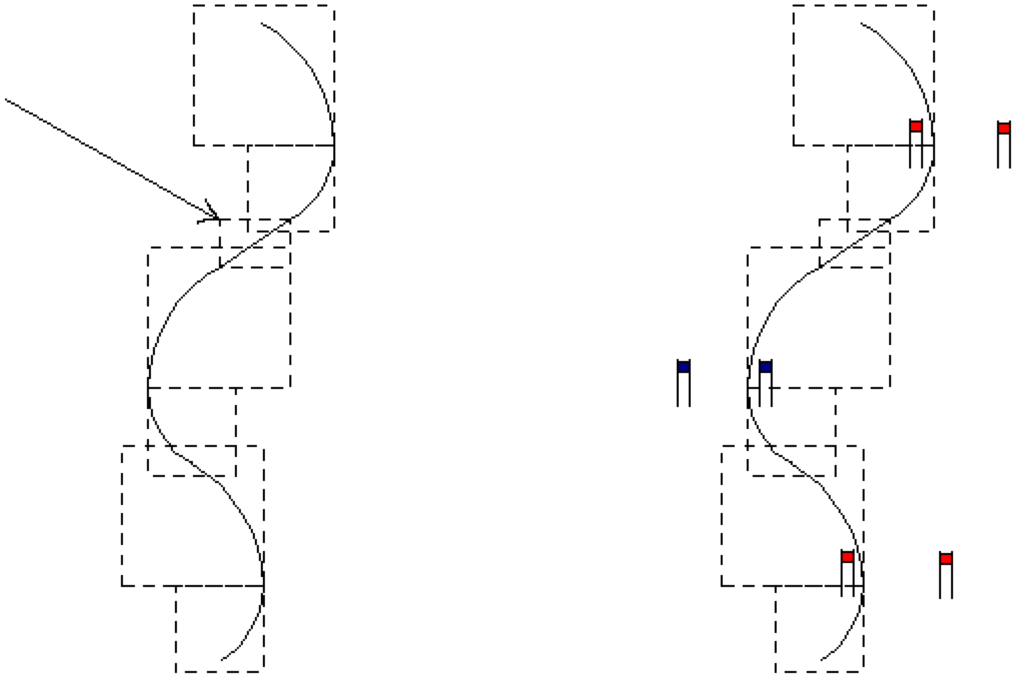


Il triangolo aureo invece è un triangolo isoscele con un angolo di 36° e gli altri due di 72° ciascuno e i suoi lati stanno in rapporto aureo con la sua base.

Gli Archi Aurei.
Finalmente torniamo all'aspetto sciistico.
Adesso sappiamo che esiste il rapporto aureo, che questo rapporto esiste al confine fra ordine e caos nei sistemi in nonequilibrio. La domanda è: che cosa c'entra con lo sci? Ecco alcune sue caratteristiche che possono essere messe in relazione con lo sci:

- ❄ identifica la traiettoria di un sistema al confine del caos;
- ❄ identifica la strada per minimizzare lo spreco di energia;
- ❄ è un'attrazione per la complessità e per i fenomeni emergenti auto-organizzanti;
- ❄ è un meccanismo super stabile (resistente alle perturbazioni).

E' evidente che il processo di sciare coinvolge l'intero corpo dello sciatore. Ad esempio sciare non ha niente in comune con guidare l'automobile dove il corpo del pilota è in realtà un "passeggero". A questo proposito ho una teoria personale, confortata da una lunga esperienza: in generale gli sciatori sono pessimi piloti (sapete quanti sciatori di alto livello sono andati a sbattere in auto o in moto, provate a contarli e ne sarete stupiti…). E la prova definitiva di ciò si ha nelle tappe di trasferimento della domenica mattina quando gli sciatori padri portano in auto i figli atleti a fare le gare: sembra di essere a Monza…Mentre i piloti (o presunti tali) sono pessimi sciatori, e questo è evidente per tutti vedendo sciare Schumaker ed i suddetti padri…
Alcuni affermano che sciare è un'espressione corporea, come il ballo, e a causa di ciò sembra naturale aspettarci di veder intervenire Φ nell'espressione dello sci in modo visibile. E infatti sembra che Φ intervenga nella traiettoria del "sistema sciatore" in forma di "archi aurei": basta osservare le tracce lasciate da sciatori di alto livello che sono in grado di percorrere buone curve condotte.



Il rettangolo indicato con la freccia è la sezione di raccordo tra una curva e la successiva, le curve sono archi aurei...non trovate che abbiano una forma familiare… nella figura di sinistra ho aggiunto le porte di Slalom Gigante: che ne dite delle traiettorie? Non vi sembra di sentire l'allenatore di vostro figlio/a che gli/le urla di invertire gli spigoli (cambiaaaaa…) appena superata la porta?
Provate a stampare questa pagina e a guardarla come se fosse la superficie di una pista con una pendenza tra 25° e 30°. Vista con questa inclinazione la forma a "uncino" o se volete a "virgola" delle curve sembra addolcirsi, esattamente come quando guardiamo le tracce lasciate sulla pista da un bravo gigantista su una pista battuta di fresco. Due quadrati adiacenti all'interno di un rettangolo aureo definiscono una curva completa (chiusa in senso sciistico). Tutto questo è piuttosto interessante, soprattutto per i tracciatori che, quando tracciano, cercano di immaginare dove le curve cominciano, dove finiscono e quanto distanti devono essere le porte. Forse il senso estetico dei tracciatori più bravi interviene a livello conscio o inconscio, consentendo loro "naturalmente" di mettere le porte in modo che i loro tracciati siano percorsi dagli atleti migliori seguendo archi aurei raccordati? In questo senso i tracciatori potrebbero essere considerati artisti…

L'equazione della curva sciistica.
C'è quindi un disaccordo tra quanto appena detto e la teoria classica (meccanica classica) della curva sciistica. Sarebbe estremamente ingenuo pensare che non ci sia un'altra "dinamica" del "flusso della sciata" coinvolta nella determinazione della traiettoria di uno sciatore. Considereremo nuovamente questa dinamica più avanti.
Prima però occorre riprendere l'approccio classico alla meccanica dello sci. Nell'approccio classico, la retroazione è completamente ignorata e la curva condotta è considerata come essere dominata dalla geometria dello sci, essendo questa l'unica via attraverso la quale la meccanica classica è in grado di scriverne l'equazione.
L'equazione della curva sciistica (da John Howes, "*Equation of skiing*") consente di calcolare il raggio della curva sciistica in ogni punto di essa. Nel seguito viene riportato un esempio numerico utilizzando un'equazione quadratica per la soluzione nei quadranti superiore ed inferiore (1° e 2°) che risulta in due raggi di curva simili a quelli inscritti nel rettangolo aureo. Il raggio della curva è calcolato per la posizione degli sci a 45° rispetto all'asse pista.
L'equazione della curva è la seguente (mi riservo di darne dimostrazione in un successivo articolo):

$$V^4 / g^2 \pm r_{cur} ((2V^2 / g)\ \mathrm{sen}\alpha \cos\beta) + r_{cur}^2 (\mathrm{sen}^2\alpha \cos^2\beta + \cos^2\alpha) = R_{sc}^2 \cos^2\alpha$$

Con:
V = velocità dello sciatore [m/s]
g = accelerazione di gravità [m/s^2]
R_{sc}= raggio della sciancratura dello sci [m]
α = pendenza della pista [°]
β = angolo degli sci rispetto all'asse pista [°] (0° = sci lungo la max pendenza, 90° = sci di traverso)
r_{cur} = raggio della curva percorsa dallo sciatore [m]

Esempio numerico:
V = 20 m/s (72 km / h)
g = 9,81 m/s^2
R_{sc} = 61 m (eh, eh, eh… si tratta dei *Maxel* SLH da Slalom da 205 cm che usava mio padre 20 anni fa!
…e non gli ho scelti a caso, ma per dimostrare che anche con quelle "putrelle" è possibile tirare delle belle curve condotte, magari con un raggio un po' alto e ad una velocità non proprio moderata)
α = 30°
β= 45° (condizione a circa metà curva)

risolvendo per r_{cur}:

$$16000 / 96{,}24 \pm (2\,400 / 9{,}81 \quad 0{,}5 \quad 0{,}7)\ r_{cur} + (0{,}25 \quad 0{,}5 + 0{,}75)\ r_{cur}^2 = 3721 \quad 0{,}75$$

$$0{,}875\ r_{cur}^2 + 28{,}54\ r_{cur} - 2790 = 0$$

che è un'equazione classica di 2° grado le cui soluzioni sono 42,4 e –75,08 metri

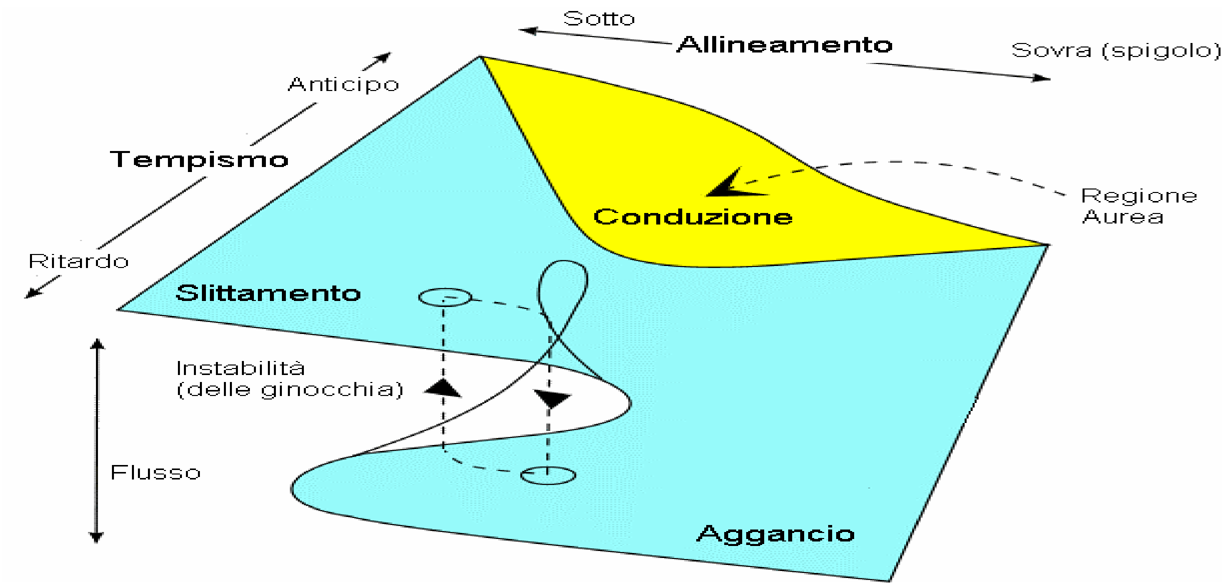
Il risultato positivo è il raggio della curva nel quadrante superiore (1°), quello negativo nell'inferiore (2°), il

loro rapporto , in valore assoluto è 1,77 che differisce poco da Φ. La differenza è dovuta tra l'altro al fatto di aver assunto β = 45° come il punto medio della curva in ogni quadrante, cosa non esattamente vera. Se si fanno più calcoli intorno a 45° e si fa la media, il risultato è più vicino a Φ.
Questo dimostra che anche la meccanica classica, anche senza l'introduzione della retroazione, porta a definire la traiettoria dello sciatore come oscillante intorno ad un arco aureo.
Ma con la retroazione lo sciatore apporta continue correzioni che non sono tenute in conto da questo approccio classico.
Come tutti sanno, l'equazione di 2° grado di cui sopra rappresenta una parabola e fu scritta per la prima volta da John Howes quando era progettista alla *HEAD*. E' interessante notare che la *HEAD* produce da anni con successo una serie di sci parabolici. Anche se ormai non si parla quasi più di sciancratura parabolica, anche la *ELAN* la utilizza dall'inizio degli anni '90 in tutta la sua gamma. Idem l'*Atomic*. In realtà il termine "sci parabolico" è uno slogan che è stato utilizzato poco in Europa ma è piuttosto popolare negli U.S.A.
Sarebbe interessante verificare se gli sci parabolici percorrono archi di curva più simili agli archi aurei rispetto agli sci con sciancratura convenzionale (circolare), sicuramente più facile (ed economica) da realizzare dal punto di vista industriale.
Permettetemi ancora un piccolo inciso per gli amanti delle gare di sci, dell'analisi matematica e della storia. Uno dei più famosi problemi nella storia della dinamica è quello della brachistocrona. Il problema consiste nel trovare la forma della curva che una particella (potrebbe essere uno sciatore) deve seguire per scivolare (senza attrito) nel minimo tempo possibile da un punto ad un altro più in basso (non direttamente sotto il primo) sotto l'influenza di un campo gravitazionale uniforme. Il problema fu inventato da Johann Bernoulli nel 1696 come gioco matematico e la soluzione fu subito trovata indipendentemente da Newton, Leibnitz, l'Hopital, Johann Bernoulli e suo fratello Jacob. La soluzione è un arco di cicloide (la traiettoria che percorre un punto su una circonferenza che rotola). A questo punto sorge un altro problema per noi atleti: per minimizzare i tempi dovremmo andare da una porta all'altra seguendo delle brachistocrone mentre le curve più naturali da seguire sonoo gli archi aurei. Probabilmente tenendo conto dell'attrito sci-neve le due curve non sono molto diverse, mi riservo di trattare il problema in futuro… fine dell'inciso.

Armonia
Quindi il nostro "sistema sciatore" opera all'interno di un inviluppo. Ritornando al pendolo, che è un modello semplificato del sistema, si può vedere che se è mantenuto quasi staticamente vicino alla verticale con piccoli movimenti della base, l'inviluppo in cui opera è piccolo. Tuttavia si può estendere l'inviluppo fino ai suoi limiti che corrispondono agli angoli di spigolo incredibili degli sciatori di Coppa. Se siamo in grado di riconoscere gli archi aurei nelle curve sciistiche, possiamo capire che i piccoli movimenti di riflesso delle gambe durante la curva sono la retroazione dello sciatore (al nonequilibrio). Questo crea un'armonia. Quando uno sciatore si sente "bilanciato" in realtà si riferisce a questa retroazione prodotta da questa armonia.
E' facile ricondurre questa armonia alle sensazioni che si provano sciando. Ci sono certi giorni in cui sciare sembra particolarmente facile ed appagante: in questi giorni la nostra retroazione è più precisa del solito e sentiamo di sciare bene (rispetto al nostro livello medio).
Personalmente riconosco quest'armonia nelle giornate in cui la neve è dura ma non ghiacciata. Per intenderci, sulla neve ghiacciata perdo l'armonia a metà curva nel senso che mi viene facile la fase di inserimento in curva ma trovo difficile la fase di inversione a fine curva. Al contrario sulla neve morbida ottengo l'armonia solo dopo metà curva nel senso che la fase di inserimento è più difficile mentre sento facilitata la fase di svincolo delle lamine.
La perdita di armonia AVVIENE con un'interruzione (un guasto) della retroazione che porta da oscillare a ruotare (nel senso dell'esempio del pendolo) direttamente fuori dell'inviluppo (una bella caduta…).
Quindi l'uso del termine "bilanciato" è il primo e più importante risultato dell'ignoranza dei fenomeni appena descritti.
Il sistema sciatore mostra caratteristiche e fenomeni che operano ad un livello di organizzazione che non può essere ridotto o spiegato in termini di "equilibrio" della meccanica classica. E non è giusto utilizzare la parola "bilanciamento" (o "centralità") solo perché è di uso comune: semplicemente non può esprimere i fenomeni suddetti. Nonequilibrio e bilanciamento sono opposti.

Sintesi
L'armonia funziona al suo meglio quando la sciata è completamente dinamica cioè quando è espressione completa delle qualità dinamiche del "flusso", della "forma" e del "controllo" della quantità di moto dello sciatore. Tradizionalmente i maestri di sci e gli allenatori si occupano principalmente della "forma" . Ciò è inevitabile dal momento che l'approccio principale dell'insegnamento dello sci è "analitico". L'effetto collaterale indesiderato di questo approccio analitico è che sopprime molti degli istinti naturali dello

sciatore, producendo una sciata che non è dinamica. Si lascia che lo sciatore si preoccupi di dettagli minimi di forma (braccia avanti… non arretrare…alza il sedere…posizione dei polsi, dei gomiti, delle anche, ecc.) e lo si lascia senza aiuto per risolvere il problema del “flusso” e del “controllo” della quantità di moto. Gli sciatori maggiormente dotati spesso rifiutano questo approccio degli istruttori a favore delle qualità dinamiche della sciata, capendo istintivamente che i due approcci sono incompatibili. Per far capire ai maestri / istruttori / allenatori i limiti del loro approccio, occorre che essi siano messi di fronte ai limiti del metodo analitico.
Lo sci è soprattutto “sintesi”, è il comportamento dell’intero “sistema sciatore” che si confronta con i vincoli esterni ad esso. La sintesi è l’unico metodo pratico per studiare il “flusso” e il dominio della quantità di moto. Gli strumenti necessari a questo nuovo approccio sono legati direttamente alla teoria del caos. Gli strumenti specifici richiesti per capire come si domina la quantità di moto sono i semplici pali snodati, un approccio diretto al caos. Al contrario, il miglior approccio per studiare il “flusso “ della quantità di moto è quella branca della matematica che si chiama “teoria delle catastrofi”, sviluppata negli anni ’70 dal matematico francese Réné Thom come metodo per interpretare il comportamento dei sistemi complessi. Proprio come il nostro modello di pendolo ha mostrato che c’è un confine tra oscillazione e rotazione (due tipi diversi di comportamento), possiamo ora costruire un modello diverso per capire caratteristiche simili di comportamento in situazioni più complesse. Il flusso della sciata è complesso perché ci sono diversi fattori che intervengono contemporaneamente.
Il modello esemplificativo che segue ha solo due variabili (fattori di controllo) e quindi può essere rappresentato nello spazio a tre dimensioni, la terza essendo il flusso della sciata risultante. I vincoli esterni, come le condizioni della neve, la pendenza della pista, la geometria degli sci sono mantenuti costanti per capire meglio la relazione e gli effetti dei due fattori di controllo che sono l’allineamento (sovra e sotto spigolo) e il tempismo (esecutivo). Il modello è semplificato e fornisce alcune informazioni importanti, sebbene sia possibile costruirne di più complessi (con più fattori di controllo) o con differenti combinazioni dei fattori di controllo.



Caratteristiche del modello
Il modello è intrinsecamente qualitativo. Questo significa che gli assi non hanno una scala graduata in termini quantitativi. Però non significa che non si possa costruire un modello quantitativo: ad esempio si potrebbe fare una bella campagna di misure su noi atleti in allenamento per determinare, istante per istante, le nostre traiettorie, velocità ed accelerazioni. Basterebbe un piccolo dispositivo giroscopico dotato di un accelerometro triassiale da incollare sugli sci che invii i segnali di assetto ed accelerazione ad una stazione telemetrica fissa, presso la quale un PC con qualche centinaio di righe in fortran è in grado di determinare la legge del moto dello sciatore, paragonare sciatori diversi, ecc.
Ma torniamo al modello: gli assi senza scala rappresentano i fattori Allineamento e Tempismo.
Sulla superficie che rappresenta il nostro modello troviamo rappresentate tutte le possibili caratteristiche della sciata che risultano da diversi tempismi esecutivi e allineamenti. La linea tridimensionale che si erge vicino all’instabilità (delle ginocchia) è la cuspide della catastrofe (la caduta, sciisticamente parlando).

Tempismo (esecutivo)
L’asse del tempismo va da “in ritardo” a “in anticipo”. Queste due situazioni corrispondono alla naturale meccanica del corpo umano nei movimenti di camminata, corsa, salto. Camminare in discesa “con i freni

tirati” è equivalente a “in ritardo”.
In altre parole uno sciatore in “anticipo” è quello che “sta davanti allo sci”, ne previene la risposta, anticipa i salti (una volta questa operazione si chiamava “op traken”).
Considerazione personale (disposto a cambiare idea di fronte all’evidenza): i migliori esempi di tempismo esecutivo li troviamo negli sciatori “Master” più bravi, quelli un po’ vecchiotti ma che sanno sciare bene. Questi signori, disponendo ormai in modo limitato della tanto decantata (dagli allenatori) forza esplosiva e quindi della rapidità di esecuzione, attingono alla loro esperienza psicomotoria pregressa per “anticipare” la retroazione, riuscendo ad ottenere ottime prestazioni sciistiche, senz’altro migliori di quelle che ci si potrebbe aspettare in base alla loro forma fisica (da pensionati dell’*ENEL,* come direbbe…).
Il tempismo esecutivo interviene in molti aspetti della nostra vita, non solo nello sci. E’ molto importante, ad esempio, nel pilotaggio delle automobili da corsa e degli aeroplani dove, se la retroazione del pilota (correzione) si trova in ritardo rispetto a quanto richiesto dalla situazione, intervengono quelle che in campo aeronautico sono indicate “PIO” (*Pilot Induced Oscillations*) che possono portare rapidamente alla perdita di controllo del mezzo. In caso di ritardo estremo (non è così infrequente come si potrebbe pensare) l’azione del pilota può diventare addirittura favorevole alla perdita di controllo (intervento in controfase).

Allineamento (femore –tibia)
L’allineamento è una caratteristica complessa. L’allineamento va da sotto-spigolo a sovra-spigolo. Se conoscete qualcuno che scia abitualmente con i piedi molto lontani fra loro (sci molto larghi) ed è convinto che tutti debbano fare la stessa cosa, ci sono molte probabilità che abbia ragione se ha le gambe “da cowboy” ed è sotto-spigolo. Al contrario gli sciatori con le gambe a X sono generalmente sovra-spigolo. Tuttavia non bisogna essere tentati di usare l’allineamento per alterare la sciata perché ci sono molti sciatori con le gambe da cowboy che cadono in un atteggiamento ingessato nel tentativo di trovare lo spigolo. La maggior parte degli sciatori è sotto-spigolo e traggono beneficio dall’aumentare la distanza fa gli sci. La soluzione ottimale è di avere il corretto allineamento dall’inizio. Voi potete cambiare considerevolmente la forma della sciata senza cambiare allineamento, ma questo generalmente sacrifica il flusso della sciata. Le osservazioni dell’allenatore circa l’allineamento sono basate essenzialmente su considerazioni di forma. Senza scendere in ulteriori dettagli, una cosa si può dire con certezza: non si può alterare l’allineamento (tibia – femore) del ginocchio di una gamba estesa … senza romperla!.

Interpretazione del modello
Il modello è auto-esplicante se studiato a fondo.
- ❆ Slittamento – aggancio – instabilità – L’area del tempismo in ritardo è sfortunatamente quella dello slittamento – aggancio delle lamine – oscillazione (instabilità) delle ginocchia;
- ❆ Regione aurea – Questa regione è quella in cui è consentito eseguire curve condotte. Lo sciatore con un allineamento ottimale ha il massimo potenziale di effettuare curve condotte. Questo sciatore avrà la retroazione più sensibile e può condurre avvicinandosi più di ogni altro alla cuspide della catastrofe (la soglia del caos). L’allineamento è una specie di meccanismo di sintonia (*tuning*) per la retroazione.
- ❆ Effetto farfalla – L’effetto farfalla delle condizioni iniziali può essere osservato dove un piccolo cambiamento nell’allineamento (da una parte o dall’altra) combinato con un tempismo in ritardo, può portare allo sbandamento o all’aggancio delle lamine (nella teoria del caos l’effetto farfalla si ha quando due eventi che iniziano in condizioni molto simili diventano rapidamente totalmente incorrelati).

Riassunto
- ❆ Sciamo su un confine mobile fra due tipi di movimento qualitativamente diversi. Questo fenomeno mostra un livello di organizzazione diverso dall’equilibrio di cui parla la Statica classica e non può essere ridotto alle leggi ed alle definizioni della Meccanica.
- ❆ Il nonequilibrio domina, ma a volte il caos vince!
- ❆ Sistema sciatore:
  - ❆ Aperto
  - ❆ Dissipativo
  - ❆ Lontano dall’equilibrio
  - ❆ Dominato dalla retroazione
- ❆ Princìpi organizzativi
  - ❆ Media aurea
  - ❆ Armonia
  - ❆ Sintesi

Conclusioni
Il mito dell'equilibrio. Thor, Odino, Giove, Apollo, gli dei mitici dell'antichità servivano tutti a spiegare il mondo. Tuoni e fulmini erano causati da Thor che batteva col martello…
Se guardiamo uno sciatore di Coppa del mondo e parliamo di equilibrio dinamico siamo fuori strada per capire cosa sta succedendo. Se accettiamo che lo sciatore sia in nonequilibrio allora possiamo porci delle domande. L'alternativa al mito è la curiosità. Tutte le spiegazioni (corrette) sono provvisorie e costituiscono uno scalino verso la domanda successiva.

"Nelle menti dei principianti ci sono molte possibilità, in quelle degli esperti ce ne sono meno." (Suzuki).

The Collapse of Chaos	Jack Cohen & Ian Stewart	Penguin 1994
Catastrophe Theory	Alexander Woodcock & Monte Davis	Penguin 1978