

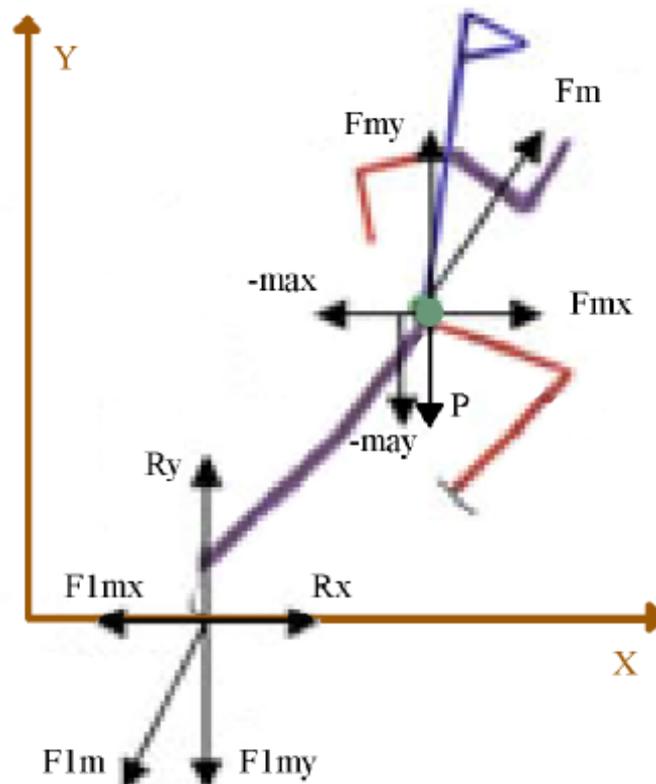
L'anatomia umana si è sviluppata sotto la pressione dello stimolo della corsa (Lieberman, 2004); lo sviluppo cerebrale per la ricerca dell'ergonomia ne è conseguente. Credo sia doveroso conoscerne bene gli aspetti che la caratterizzano essendo essa caratteristica comune di quasi tutti gli sport.

Il primo punto che andrò a trattare è la corsa in piano nelle sue fasi di accelerazione da fermo e lanciata, ma facendo una piccola premessa. La prima cosa su cui porre attenzione è di fondamentale importanza: analizzare un sistema prevede che si faccia una scelta oculata degli strumenti che la fisica ci mette a disposizione. Bisogna decidere se ci interessano gli aspetti cinematici o quelli dinamici. Ogni volta che si parla di posizione, velocità e accelerazione, senza far intervenire masse esplicitamente, si opta per gli aspetti cinematici, quando invece la massa è protagonista ecco che l'analisi prende una piega "dinamica". Pur senza entrare in dettagli filologici dei termini, i latini dicevano "Nomina sunt consequentia rerum" e non solo anche "substantia"... questo per ricordare che ogni parola deve essere ben ponderata prima di inserirla in un qualsiasi concetto si voglia esprimere. Anche sistemi molto complessi seguono le Leggi Fondamentali della Fisica (in quanto **Leggi non possono** essere violate) e proprio per questo motivo vorrei porre l'attenzione su quelli che vengono comunemente indicati come "Fondamenti di Fisica"...

Secondo un modello cinematico, un soggetto che comincia a correre in una determinata direzione è rappresentato da un punto e da un'accelerazione orientata nel senso di marcia; quando si cominciano a considerare gli interventi dell'accelerazione di gravità, le cause di tali azioni e le relative reazioni, il modello diventa di tipo dinamico.

Fase di corsa lanciata

Nella corsa, durante la fase di spinta, si produce una forza muscolare applicata verso il suolo che sviluppa, nel punto di contatto, una reazione, di valore uguale e di direzione inversa, che rappresenta la risposta del suolo all'azione della forza muscolare. In riferimento a quanto già evidenziato da Ivanov, nella figura seguente sono rappresentate (lungo la direzione degli assi **X** ed **Y**), le forze agenti nel punto di contatto di cui si ammette che la direzione nella quale esse agiscono attraversa il baricentro.



N.B. Il vettore $-may$ è spostato per una migliore visione ma è da ritenere applicato al baricentro.

Questa reazione del suolo all'azione della forza muscolare, è la risultante delle componenti orizzontale (rappresentata dall'attrito), e verticale (rappresentata dalla forza resistente del suolo), possiede, nel punto d'appoggio al suolo, un valore pari a quello della forza muscolare di spinta.

Nella corsa la forza applicata dall'arto d'appoggio agisce in maniera angolata rispetto all'appoggio; per la soluzione di questo sistema di forze si dovrà operare secondo il principio d'Alembert; si dovranno, quindi, scomporre le forze nelle loro componenti x ed y .

La componente orizzontale F_{1mx} deve trovare una resistenza che la equilibri per permettere lo spostamento del corpo in avanti; essa è rappresentata dalla forza d'attrito R_x .

Applicando le forze d'inerzia fittizie ausiliarie (o forze d'azione complementari), secondo il principio d'Alembert, agirà lungo l'asse orizzontale X la forza max , e lungo l'asse verticale Y la forza may .

A questo punto lungo l'asse X agiranno: le forze $+F_{mx}$ e $-F_{1mx}$ come interne, R_x (attrito) come forza esterna passiva, e $-max$ come forza d'inerzia;

quindi l'equazione delle forze sarà: $F_{mx} + R_x - F_{1mx} - max = 0$

Essendo R_x e F_{1mx} uguali e contrarie, esse si annullano e quindi l'equazione si modificherà in:

$F_{mx} - max = 0$ da cui $ax = F_{mx}/m$. (accelerazione agente sull'asse orizzontale che sarà ORIENTATA NELLA DIREZIONE DEL MOTO !!!).

Analogamente lungo l'asse Y agiranno: le forze F_{my} e F_{1my} come interne, P (peso) e R_y (resistenza del suolo) come forze esterne passive, e may come forza d'inerzia;

quindi l'equazione delle forze sarà: $F_{my} + R_y - F_{1my} - P - may = 0$.

Essendo R_y e F_{1my} uguali e contrarie, esse si annullano e quindi l'equazione si modificherà in:

$F_{my} - P - may = 0$ da cui $ay = 1/m * (F_{my} - P)$.

Considerando per l'asse Y $F_{my} = 0$, l'accelerazione verso l'alto assume un valore negativo che corrisponde all'accelerazione di gravità e cioè $a = P/m = g$ da cui $P = mg$.

Facendo le stesse considerazioni per l'asse X , si avrà che l'accelerazione orizzontale dipenderà solo dalla forza muscolare F_{mx} .

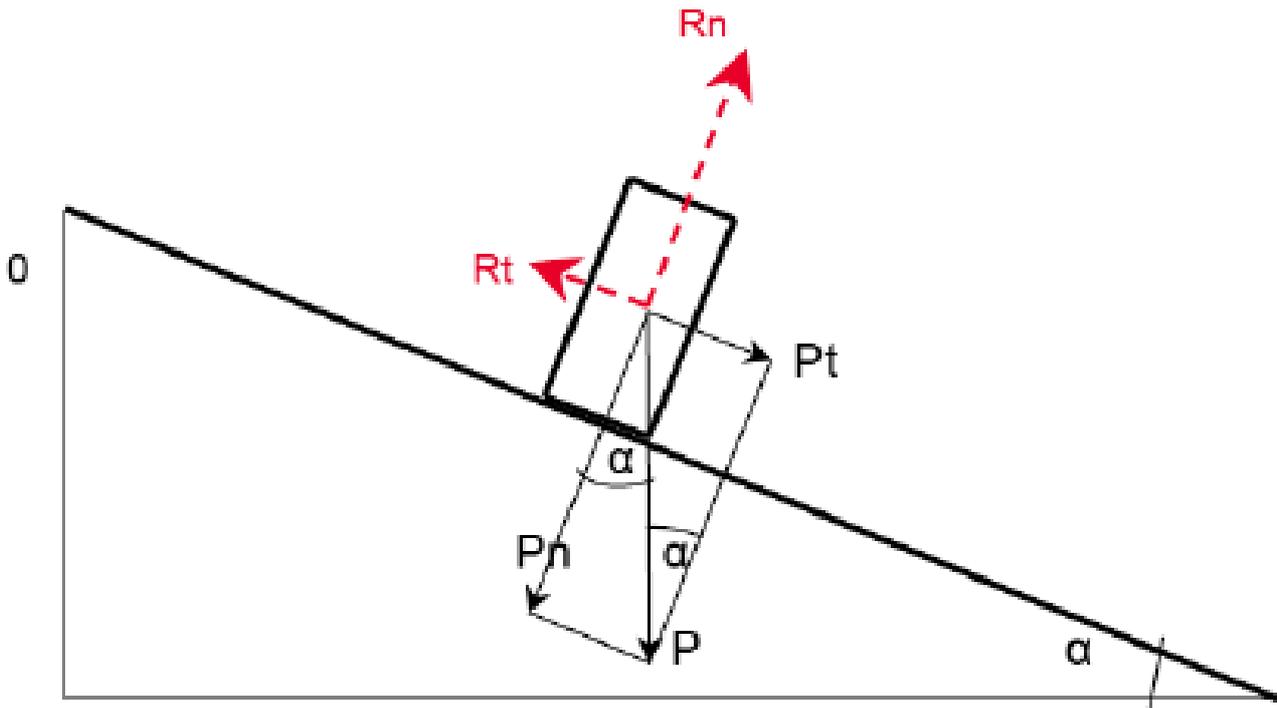
Fase d'accelerazione da fermo

Nella fase di corsa in piano in accelerazione con partenza da fermo, l'atleta è inclinato in avanti rispetto alla corsa lanciata per creare un momento di ribaltamento in avanti (momento inteso non come frazione di tempo ma nel senso fisico della parola; preciso solo per alcuni ovviamente). Le differenze esistenti rispetto alla corsa lanciata sono: il baricentro è più avanzato; l'angolo formato dall'azione della forza muscolare risultante applicata al suolo passante per il baricentro ed il suolo, è minore. Tali condizioni determinano l'aumento del momento di ribaltamento in avanti.

Secondo punto: la corsa in salita e seconda premessa.

Un qualsiasi corpo posto su un piano inclinato sarà soggetto ad una forza normale al piano stesso (esso riceve una spinta dal basso verso l'alto dal piano su cui poggia, per la Terza Legge di Newton) che, in assenza di altre forze applicate, sarà pari ad una frazione del suo peso ... che nessun burlone leggendo "riceve una spinta dal basso verso l'alto" pensi che si stia parlando di Archimede ... questa reazione è proprio perpendicolare al piano inclinato! Se si rivolge l'attenzione alla direzione lungo il piano inclinato sarà automatico notare che esiste una componente del peso che tenderà ad ostacolare la salita del corpo...supponendo il piano inclinato privo di attrito dovrà essere applicata una forza uguale e contraria (sulla stessa retta d'azione) affinché il corpo rimanga fermo; nel mondo reale esiste l'attrito e quindi il corpo rimarrà fermo fintanto che la componente del suo peso lungo il piano inclinato sarà inferiore a quella che si denomina Forza d'attrito (ovviamente attrito STATICO)! Tutto questo se consideriamo un corpo che non abbia ricevuto altre "spinte" ma che sia solo soggetto all'attrazione gravitazionale. Ora, se consideriamo (sempre come modello fisico) una parte di questo corpo composta da un attuatore lineare (nell'automazione industriale ne esistono moltissimi modelli), che preme sul terreno (piano inclinato), secondo una direzione diversa dalla perpendicolare al piano, il corpo stesso riceve una spinta uguale e contraria (sempre per la Legge di Newton di cui prima), che in un diagramma delle forze potrà essere scomposta in parte sulla perpendicolare, e in parte nella direzione del piano inclinato ... e proprio questa componente sarà artefice di una variazione della velocità del corpo (non importa che esso sia fermo o in moto rettilineo uniforme ... si ricordi Galileo). Attenzione all'altra componente ... essa sarà responsabile del movimento perpendicolare al piano inclinato! Quindi, per riassumere, tale spinta sarà concorde con la componente del peso normale al piano inclinato mentre la componente parallela a tale piano sarà discorde rispetto alla porzione di forza peso che tende a far retrocedere il corpo ... non sarà difficile associare l'attuatore lineare all'arto di spinta!

A questo punto credo sia necessario fare un necessario ripasso sul piano inclinato.



Il piano inclinato fu studiato fin dall'epoca dei Greci. Galileo Galilei nel 1604 ne individuò le leggi fisiche che lo regolano ed attraverso il piano inclinato riuscì a determinare il valore dell'accelerazione di gravità e la legge di conservazione dell'energia.

Oggi può apparire una conoscenza teorica semplice e intuitiva ma la sua apparente semplicità porta spesso a compiere errori di interpretazione gravi e molti soloni sono scivolati su queste teorie commettendo imperdonabili errori.

Vediamo le leggi fondamentali che regolano il moto di un corpo posto su un piano inclinato per poi trasferire le stesse leggi nella corsa in salita.

Su un corpo di massa m che si muove lungo un piano inclinato di un angolo α sulla orizzontale agisce la forza peso P (determinata dalla massa m per l'accelerazione di gravità g). La massa m è una grandezza scalare mentre la forza peso P è una grandezza vettoriale, cioè oltre ad un modulo ha una direzione (verticale) ed un verso (è diretta da baricentro del corpo verso il "centro della terra").

La forza peso P si può scomporre nelle due direzioni principali del sistema, una parallela al piano inclinato e una a esso perpendicolare dando luogo alle due componenti che chiameremo P_t e P_n . Qualsiasi altra coppia di direzioni in cui noi scomponessimo la forza peso P , le loro ulteriori componenti ci ricondurrebbero sempre ed inequivocabilmente alle due direzioni principali suddette e cioè ortogonale e parallela al piano inclinato.

E' un grave errore scomporre la forza peso P secondo la verticale e non la normale al piano inclinato in quanto in tal modo essendo P certamente verticale, in quanto forza di gravità, non avrebbe alcuna componente né orizzontale né parallela al piano inclinato, né ad altra direzione e la corsa in salita risulterebbe così uguale alla corsa in piano. Magari!!!! Gli scalatori nel ciclismo non avrebbero più senso, tutti passisti veloci!!!! Evidente l'assurdità!

La componente P_t si ottiene moltiplicando il modulo della forza peso per il seno dell'angolo di inclinazione del piano α .

La componente P_n si ottiene moltiplicando il modulo della forza peso per il coseno dell'angolo α .

$$P_t = P * \sin\alpha$$

$$P_n = P * \cos\alpha$$

La componente P_n ha direzione e verso ortogonale al piano inclinato ed ad esso è diretta. La componente P_n viene assorbita dalla reazione vincolare che lo stesso piano inclinato esplica mediante una forza di reazione R_n di intensità pari al modulo di P_n ma di verso opposto.

La componente P_t invece è parallela al piano inclinato e di verso tale che consentirebbe il moto spingendo il corpo m in discesa lungo il piano inclinato se non fosse contrastata da una forza R_t uguale in

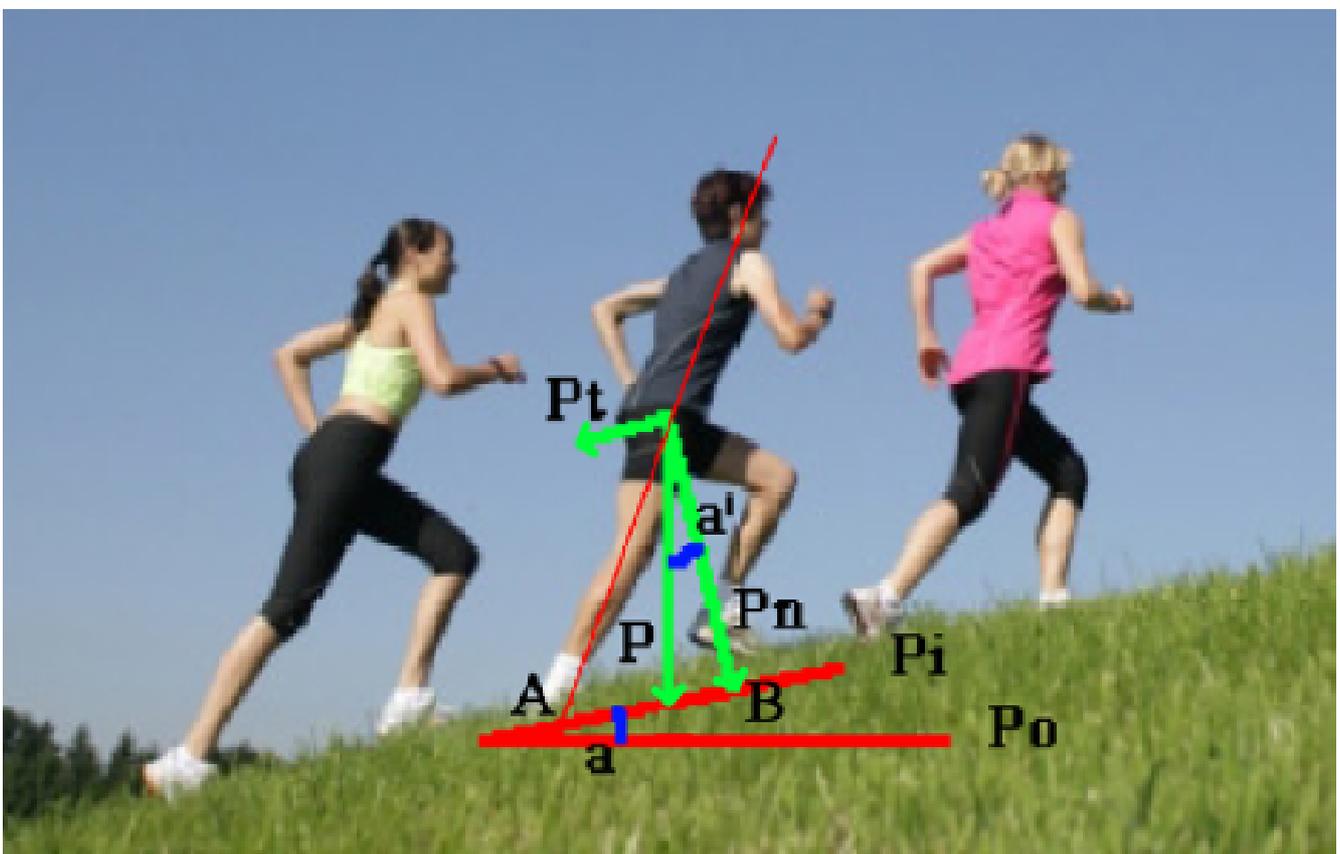
modulo ma di verso contrario. Quindi la spinta che deve esprimere l'atleta nella corsa in salita deve essere maggiore della reazione R_t .

L'atleta per meglio fronteggiare la componente tangenziale P_t , oltre alla spinta che produce alternativamente con i piedi di appoggio, si inclina in avanti spostando in avanti il proprio baricentro e generando un momento di ribaltamento nella direzione del moto. La posizione eretta (subverticale) che eventualmente assumerebbe l'atleta nella corsa in salita gli consentirebbe di correre solo mediante la spinta dei piedi di appoggio senza il significativo aiuto della posizione inclinata.

Premesso quanto sopra appare evidente che nella corsa piana la posizione eretta che assume l'atleta è congruente con la mancanza di una componente tangenziale tipo R_t essendo nella corsa piana $\alpha = 0$.

Nella corsa l'atleta assume movimenti e posture spontanei che rispondono, anche se inconsapevolmente, a precisi principi della fisica. Sta a noi comprenderli e interpretarli correttamente!

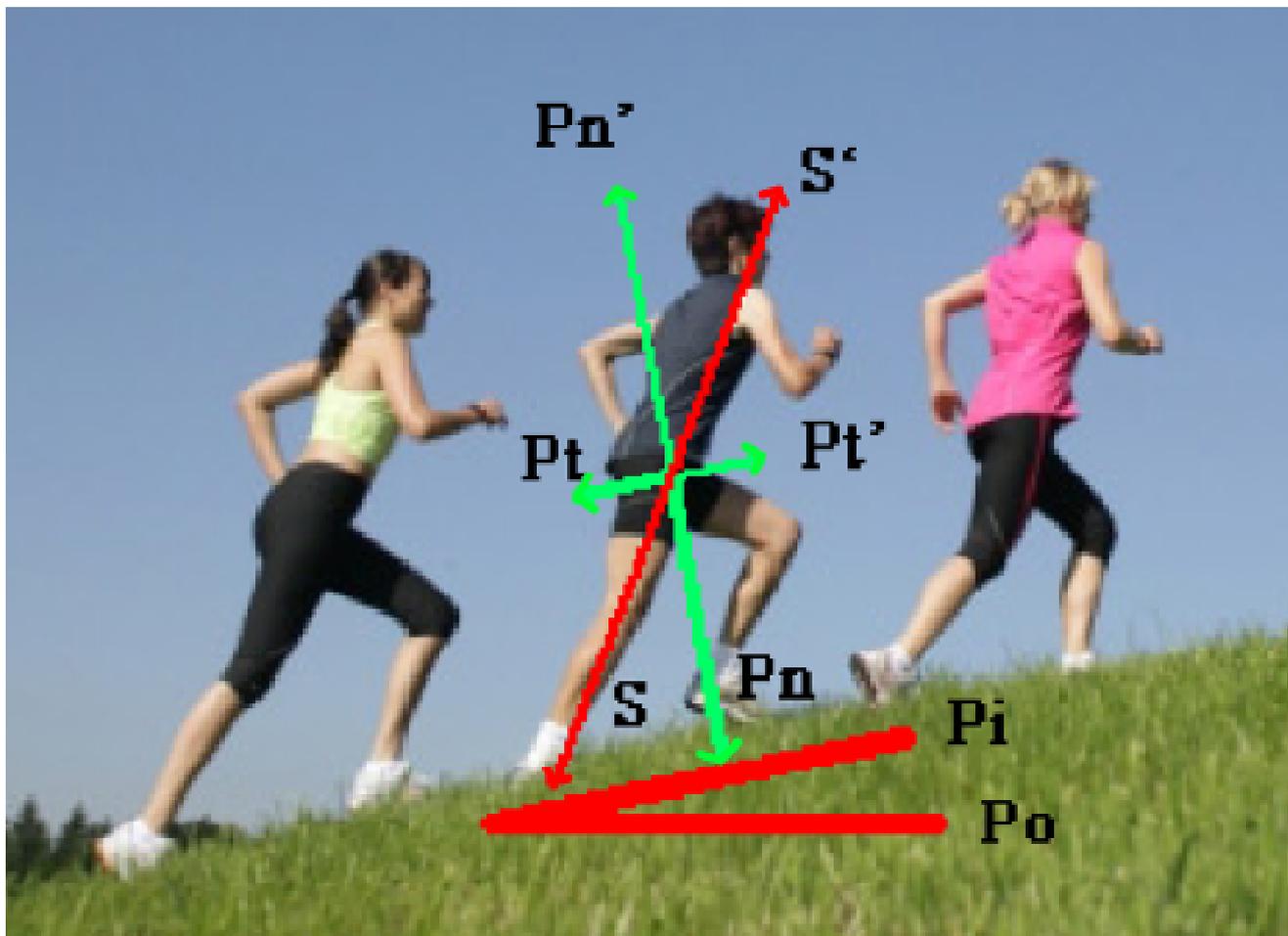
Perché nella corsa piana l'atleta è in posizione eretta (inclinandosi in avanti sarebbe costretto a ridurre l'ampiezza del passo con perdita di efficienza) mentre nella corsa in salita automaticamente si inclina in avanti? Le risposte non le daranno i posteri ma le ha già date l'uomo migliaia di anni fa osservando i fenomeni naturali. La verifica è data dalle figure di Mo Farah e Bolt delle pagine a seguire.



In salita l'accelerazione di gravità rivolta perpendicolarmente verso il basso è, nella figura in alto (corrispondente alla diapositiva 36), rappresentata dal vettore P che rappresenta anche il peso del soggetto; questo vettore si scompone nelle sue componenti P_n (perpendicolare al piano della salita) e P_t (parallela al piano della salita), orientata verso la discesa e che tende a fare scivolare verso il basso il soggetto. L'angolo formato tra il piano orizzontale e quello inclinato è denominato a , mentre quello formato tra i vettori P e P_n è denominato a' . La distanza tra il punto d'appoggio dell'arto di spinta A ed il punto B in cui la componente P_n incontra il piano inclinato, è detta retta $A-B$.

Il prodotto tra la distanza $A-B$ e la componente P_n determina il "momento di ribaltamento in avanti del corpo che favorisce il moto. Per aumentare la velocità $a' > a$, cioè il corpo deve inclinarsi maggiormente in avanti determinando l'innalzamento del ginocchio per superare un dislivello più elevato.

Il diagramma delle forze che esplica l'avanzamento del corpo, è descritto nella figura seguente (corrispondente alla diapositiva 37), dove alle componenti P_n e P_t , si vanno ad opporre i vettori componenti la risultante della spinta S' detta forza di reazione al suolo (orientata nel verso opposto dell'azione S che avviene al suolo, detta forza di azione sul suolo), P_n' e P_t' .



Su questa figura sono così contestato: “*il segmento PN va perpendicolare al piano e non alla salita !!!*”. Come vedete non si tratta di alcuna immagine mistificante ed errata in quanto (rammento a chi di fisica ne sa ben poco oltre che in possesso di scarso spirito di osservazione), il segmento P_n non è perpendicolare al piano ma alla salita essendo egli una componente di P (che è perpendicolare al piano orizzontale), come ben esplicito nella figura precedente a questa (cioè la diapositiva 36) a cui essa fa seguito (bastava leggere la legenda a fianco delle due diapositive !!!).

Il mio invito di andare a ristudiarsi il piano inclinato in fisica si rinnova; ma non bastava prestare più attenzione a quanto da me detto e guardare con attenzione le figure con la legenda, scritta chiaramente a fianco, per evitare diatribe simili e figuracce conseguenti? Il fatto è che si ascolta poco e male, si legge di fretta e con superficialità, riguardo alla comprensione poi alcuni zoppicano notevolmente.

Concludendo, forse la non comprensione della diapositiva 37 è dovuta al fatto che non ci si è soffermati sulla 36 (o vuoi vedere che chi non ha capito la 37 lo deve al fatto che non ha capito neanche la 36? Mah!).

E' ovvio, quindi, che in salita, per avanzare, il corpo deve essere inclinato in avanti (ma per educazione non uso i termini adottati da qualcuno per dire ciò) e non può essere verticale in quanto la spinta verticale farebbe ricadere sul posto il soggetto (così come è raffigurato in altri modelli dove addirittura si è presa la figura di un corridore inclinato in avanti che accelera sul piano e la si è ruotata verso l'alto facendogli assumere un improponibile assetto di corsa).

La mancata inclinazione in avanti dell'atleta comporterebbe che la componente della forza peso parallela al piano inclinato, provocherebbe una spinta verso il basso (s'intenda verso l'inizio della salita), non compensata dalla vantaggiosa posizione in avanti che naturalmente ed istintivamente un soggetto assume.

A maggior ragione un'angolazione del corpo rivolta verso la discesa, comporterebbe un ulteriore aggravamento delle azioni contrarie al moto in salita. In salita il corpo è sempre inclinato in avanti. (Chiedere agli alpini !!!).

Ma adesso ritengo sia necessario che venga effettuata una comparazione tra corsa in piano ed in salita. La corsa è un'attività ciclica caratterizzata da una sequenza di movimenti degli arti inferiori che si ripetono in una successione omologa alternata e che allontanano il corpo dal suolo realizzando una serie di rimbalzi; contemporaneamente gli arti superiori hanno il compito di oscillare con il fine di equilibrare il corpo mentre l'azione del tronco è in parte passiva ed in parte, con un lieve movimento, coadiuva l'avanzamento.

Per brevità farò riferimento solo all'azione degli arti inferiori e della posizione del busto durante la fase d'appoggio della corsa.

La fase d'appoggio nella corsa comprende il complesso di movimenti che si compiono durante tutto il periodo di tempo in cui un arto inferiore è a contatto con il suolo; essa consta a sua volta di tre momenti fondamentali:

- Ammortizzazione e Caricamento
- Sostegno
- Estensione o "di spinta"

La fase d'appoggio consta, inoltre, di due aspetti: uno negativo, relativo al momento del contatto del piede al suolo e che dura fino a quando il bacino non avrà superato la verticale del punto d'appoggio, in quanto in questo periodo il baricentro tende a rallentare (è detta anche parzialmente positiva in quanto si vengono a creare i presupposti per la spinta); ed uno positivo, relativo al momento in cui il bacino supera la verticale del punto d'appoggio fino alla perdita di contatto del piede di spinta col suolo, in quanto in questo periodo il baricentro viene accelerato.

Il momento di ammortizzazione e caricamento ha inizio quando il piede prende contatto con il suolo, con l'arto naturalmente disteso e termina quando il centro di gravità si trova sulla verticale del piede d'appoggio.

Un attimo prima che il contatto avvenga, il piede si prepara al contatto-impatto presentandosi in leggera supinazione e flesso dorsalmente grazie alla contrazione del muscolo tibiale anteriore; così facendo si preattiveranno i muscoli antigravitazionali.

Al momento del contatto, il piede avrà una direzione opposta a quella d'avanzamento del baricentro ed una velocità quasi uguale (consiglio di leggere "Principi di meccanica in atletica leggera" di Dyson), per limitare al massimo la frenata, l'appoggio sarà metatarsale esterno con precedenza del 5° metatarso; in questo momento la gamba sarà perpendicolare al suolo ed il bacino ed il baricentro del corpo si troveranno poco dietro la perpendicolare del punto d'appoggio, permettendo di ridurre al minimo gli effetti frenanti del contatto con il suolo.

Il piede poggiato al suolo, all'avanzare del bacino, scenderà fin quasi a toccare il suolo con il tallone, ma ciò non dovrà accadere per non scaricare le tensioni che si vengono a produrre nella muscolatura del tricipite surale; gli angoli al ginocchio ed alla caviglia andranno progressivamente chiudendosi facilitando l'avanzamento orizzontale del bacino senza innalzamenti, limitando così il rallentamento della velocità di avanzamento del corpo.

In questa fase di abbassamento del centro di gravità e di rallentamento, i muscoli (in particolare il bicipite femorale, il quadricipite femorale, i gastrocnemi ed il soleo), effettuano un lavoro negativo, cioè sono stirati nello stesso momento in cui sono contratti, questo tipo di condizione è detta contrazione eccentrica. Questa fase presenta una diminuzione sia dell'energia potenziale che cinetica, con una diminuzione della energia meccanica totale; una parte di questa energia viene dispersa sotto forma di calore, mentre una parte di energia potenziale è immagazzinata nella muscolatura estensoria degli arti inferiori sotto forma di energia elastica e restituita nella fase di spinta sotto forma di energia meccanica con una contrazione di tipo concentrica.

In questa fase si creano, quindi, i presupposti per una spinta quanto più possibile dinamica; nella muscolatura dell'arto inferiore si sviluppano in tempi brevissimi forti tensioni che dipendono dal complesso tendineo-muscolare del soggetto che si esprimono con il termine di *stiffness muscolare* o *capacità reattiva*.

Durante la fase di ammortizzazione dell'arto portante, l'arto libero avanza fino a che le due ginocchia si vengono a trovare affiancate;

Il presupposto per l'avanzamento del bacino e dell'instaurarsi nella muscolatura flessoria dell'arto inferiore delle condizioni idonee più per l'avanzamento che per l'innalzamento dell'arto portante, è determinato da una postero-versions del bacino che tende a trasformare la naturale lordosi lombare in una cifosi che, con un ottimale intervento di sostegno della muscolatura addominale, lo fa scendere leggermente in basso ed in avanti.

Tale atteggiamento è favorito dalla posizione cifotica del tronco, che determina una condizione di stiramento elastico più solida e reattiva della muscolatura flessoria dell'anca il cui principale muscolo motore è l'ileopsoas, con il risultato di una contrazione più efficace per la velocizzazione dell'avanzamento dell'arto.

L'inclinazione del tronco rispetto alla verticale dal momento dell'impatto alla fine del momento d'ammortizzazione varia dai circa 13° ai circa 15° nel senso della direzione della corsa.

Il momento di sostegno comincia quando il centro di gravità si trova sulla verticale del piede d'appoggio ed è caratterizzato dal mantenimento degli angoli al ginocchio ed alla caviglia e dall'apertura del solo angolo al bacino; esso termina quando, presentandosi il femore in verticale, il bacino oltrepassa la verticale passante per il punto d'appoggio del piede e l'arto portante comincia a distendersi determinando l'apertura degli angoli all'anca, al ginocchio ed alla caviglia.

Al termine della fase d'ammortizzazione, il sistema dell'arto portante ruota sul punto d'appoggio spostandosi dal metatarso all'avampiede, allontanando in questo modo il tallone da terra, mantenendo invariati gli angoli al ginocchio ed alla caviglia ed aprendo l'angolo al bacino; la tenuta degli angoli è determinata dalla contrazione isometrica della muscolatura interessata.

In questa fase c'è il sorpasso dell'arto portante da parte dell'arto libero che, unitamente all'apertura dell'angolo all'anca ed al fissaggio degli angoli al ginocchio ed alla caviglia, comporta di fatto la ripresa dell'accelerazione del baricentro.

L'inclinazione del tronco rispetto alla verticale, per effetto dell'apertura dell'angolo alle anche, diminuisce e passa a circa 12° nel senso della direzione della corsa.

Il momento di estensione o "di spinta" è caratterizzato dal momento in cui si aprono gli angoli della caviglia, del ginocchio e dell'anca e termina quando l'arto portante è quasi completamente disteso, il ginocchio dell'arto libero ha raggiunto la massima altezza ed il piede dell'arto portante perde il contatto con il suolo.

Lo spostamento in avanti del bacino si ha per effetto dell'azione propulsiva che inizia con il raddrizzamento dell'arto al livello del ginocchio: per l'estensione della coscia sulla gamba a seguito della rotazione del femore sul ginocchio e dell'apertura dell'angolo all'anca.

Il tutto è reso possibile dall'intervento dei muscoli estensori quadricipitali facenti punto fisso sull'inserzione distale del tendine rotuleo e soprattutto degli ischio-crurali e del grande gluteo, per l'inerzia dell'arto libero dovuta al ritorno elastico in avanti a seguito della forte azione tensiva del retto del quadricipite e dei suoi sinergici, il sartorio ed il tensore della fascia lata, per l'intervento reattivo del piede.

L'estensione dell'arto portante non è mai completa, a seguito dell'avanzamento del bacino, che forma un angolo con il femore dell'arto portante, ed all'azione di richiamo in avanti di quest'ultimo da parte dell'arto libero.

Questa porzione di spazio d'avanzamento perduta a causa della non completa estensione dell'arto portante, è però recuperata da quello che è definito "passo pelvico", ovvero quella porzione di spazio che l'anca dell'arto libero percorre grazie alla rotazione interna indotta dall'avanzamento di quest'ultimo.

Ne consegue che il massimo spazio percorso dal baricentro nel momento della spinta è dato dalla massima estensione possibile dell'arto portante unitamente al massimo avanzamento dell'arto libero con la coscia quasi orizzontale al suolo e con l'angolo al ginocchio chiuso tra circa 60° e circa 70°.

L'inclinazione del tronco rispetto alla verticale, per effetto dell'avanzamento del bacino e dell'avanzamento-innalzamento dell'arto libero, diminuisce ulteriormente e passa a circa 9° nel senso della direzione della corsa.

Passiamo adesso ad illustrare alcune caratteristiche della corsa in salita

In salita il momento d'ammortizzazione avviene con un angolo più chiuso al ginocchio e della caviglia per l'arrivo in anticipo del piede a terra dovuto alla pendenza.

Gottschall e Kram (2005), in uno studio sulla GRF (Ground Reaction Force), per quantificare l'impatto dell'arto al suolo e comprenderne le componenti di frenata e di spinta, calcolarne l'intensità, e le fluttuazioni di energia meccanica, hanno misurato i valori del picco d'impatto della forza normale, che risultavano rispetto alla corsa in piano notevolmente superiori in discesa, ma erano decisamente minori in salita per effetto del cambiamento di appoggio del piede a terra che, all'aumentare della pendenza in salita, non avveniva più di pianta o di tallone ma d'avampiede. Nello studio, a 10,8 km/h e pendenza di 9°, tutti i soggetti testati correvano con appoggio d'avampiede (ma dove si sono trovate certe immagini con la corsa in salita a 10° ed a 10km/h eseguita con appoggi di pianta e di tallone? Figuriamoci se certe tesi elaborate su tali soggetti possono valere per gli atleti).

Sempre secondo Gottschall e Kram nella corsa in salita a +9° rispetto alla corsa in piano, l'impulso di frenata è minore del 65%, mentre l'impulso propulsivo è maggiore del 68%.

Nella corsa in salita l'impatto con il suolo è minore rispetto alla corsa in piano e l'energia elastica accumulata dai muscoli è inferiore; secondo Minetti ed al. (1994), alla pendenza del 15% l'energia elastica diminuisce del 32,5%, di conseguenza aumenta l'intervento della parte contrattile del muscolo.

L'impatto del piede al suolo nella corsa in salita sviluppa nel momento del contatto picchi di forza verticali ad una pendenza di 6° inferiori del 22% rispetto alla corsa in piano (Gottschall e Kram, 2005). La componente orizzontale della frenata (quella che tende a ridurre l'energia cinetica al momento del contatto del piede al suolo), tende a diminuire nella corsa in salita del 38% ad una pendenza di 6° e del 54% a 9° rispetto alla corsa in piano (Gottschall e Kram, 2005).

In uno studio di Paradisis e Cooke (2001), dove la corsa in salita era riprodotta con una pedana inclinata di 3° rispetto all'orizzontale e la velocità di corsa era di $7,8 \pm 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, è stata messa in evidenza una riduzione dell'ampiezza del movimento degli arti inferiori, con apprezzabili cambiamenti sia nelle caratteristiche cinematiche che nell'assetto di corsa dell'atleta.

A livello biomeccanico nella corsa in salita, rispetto alla corsa in piano, le articolazioni dell'anca, del ginocchio e della caviglia si chiudono maggiormente durante la fase di appoggio, mentre nella fase di spinta si aprono maggiormente con un maggiore intervento della muscolatura estensoria, in particolare del vasto mediale e del gastrocnemio (Swanson e Caldwell, 2000).

In particolare il contributo dell'anca nella spinta durante la corsa in salita aumenta con l'aumentare della pendenza ed al 12% il lavoro netto che essa compie è il 75% del totale delle tre articolazioni precedentemente considerate (Roberts e Belliveau, 2005).

Ciò si giustifica con il fatto che durante la fase di spinta del passo di corsa in salita la componente orizzontale (quella che aumenta l'energia cinetica), tende ad aumentare; in particolare essa in salita aumenta del 50% con una pendenza di 6° e del 75% a 9° rispetto alla corsa in piano (Gottschall e Kram, 2005); sempre secondo questi Autori la componente verticale sia su una pendenza in salita di 9° che in discesa a -9° non subisce modificazioni significative.

E' ovvio, quindi, che nella corsa in salita la componente muscolare maggiormente impegnata è quella che contribuisce a sviluppare la spinta in avanti, e che all'aumentare della velocità e della pendenza il contributo dei muscoli aumenta e tende a cambiare; in particolare la durata della fase di spinta tende ad aumentare; riguardo l'aumento della massa della muscolatura interessata durante la corsa su una salita della pendenza del 10% è, secondo Sloniger ed al. (1997), del 9%.

La variazione dell'intervento muscolare all'aumentare della pendenza nella corsa in salita ed a velocità elevate, si manifesta nella fase di appoggio-ammortizzazione con la diminuzione tendenziale dell'attività del vasto laterale, mentre tende ad incrementare quella del vasto mediale e dell'intermedio; mentre nella fase di spinta aumenta l'attività degli ischiocrurali, dell'ileopsoas, del quadricipite, degli adduttori e del gastrocnemio.

Dopo questi chiarimenti biomeccanici è il caso di sintetizzare:

- Le differenze dei parametri biomeccanici tra la corsa in piano e la corsa in salita aumentano con il crescere della velocità.
- In salita la durata del passo si riduce all'aumentare della pendenza e della velocità.
- In salita il tempo di volo si riduce all'aumentare della pendenza e della velocità.

- In salita il tempo di contatto resta pressoché invariato fino a pendenze del 15% (con velocità comprese tra 10 e 16 km/h) oltre aumenta.
- In salita l'avanzamento è dovuto alla componente orizzontale della spinta che aumenta con l'incremento della velocità e/o della pendenza.

Tecnicamente:

Il busto è sempre inclinato in avanti per le motivazioni fisiche precedentemente espresse.

Nel momento del contatto:

- L'appoggio avviene d'avampiede con un angolo alla caviglia più chiuso rispetto alla corsa in piano a causa della pendenza.
- Il piede prende contatto con il suolo poco avanti alla perpendicolare del baricentro, con un'azione dall'alto verso il basso accentuata rispetto alla corsa in piano; proprio per non cadere col piede troppo avanti con conseguente frenata ed aumento del tempo di contatto.
- Il busto è inclinato in avanti per ridurre la distanza tra la verticale del baricentro ed il punto d'appoggio.

Il momento di sostegno concettualmente non subisce cambiamenti rispetto alla corsa in piano.

Nella fase di spinta:

- L'azione di innalzamento accentuato della coscia, serve per consentire il superamento del dislivello e dare un maggiore spazio di accelerazione al piede verso il basso per rimbalzare nel più breve tempo possibile.
- Il busto è inclinato in avanti sul prolungamento dell'arto di spinta.
- L'inclinazione del busto in avanti serve per spostare il baricentro il più avanti possibile per generare il "momento di ribaltamento" nella direzione del moto.

In conclusione: per correre in salita a velocità più elevata, la componente orizzontale della spinta deve essere maggiore, di conseguenza aumenta l'ampiezza del passo (e quindi la distanza tra il punto d'appoggio del piede di spinta e la perpendicolare del baricentro) e l'inclinazione del soggetto in avanti. Di conseguenza, per superare un dislivello maggiore, la coscia deve essere elevata maggiormente ed il piede prendere contatto con il suolo con forza e d'avampiede, poco avanti alla perpendicolare del baricentro per non creare frenate. La distanza contenuta tra la perpendicolare del baricentro ed il piede al momento del contatto al suolo è dovuta alla maggiore inclinazione del busto in avanti che ne sposta il baricentro più avanti.

In particolare sono circolate foto di un soggetto che corre sul tappeto a velocità di 10 km/h inclinato di 10° e ... con tutto il piede poggiato a terra !!! Ricordo che nella corsa (in piano ed ancor più in salita), l'appoggio è d'avampiede!!!

Pertanto, invito tutti ad osservare un corridore vero su una salita vera e non sul tapis roulant dove l'inclinazione del busto è molto poco accentuata per l'azione di corsa rivolta eccessivamente verso l'alto e poco verso l'avanti per effetto anche dell'elasticità del tappeto. A bassa velocità gli atleti meno validi saltellano in verticale più degli atleti di alta qualificazione (Cavagna e Franzetti, 1987).

Comunque esiste una ricca bibliografia relativamente ai parametri cinematici e dinamici della corsa in varie condizioni; consultate e studiate.

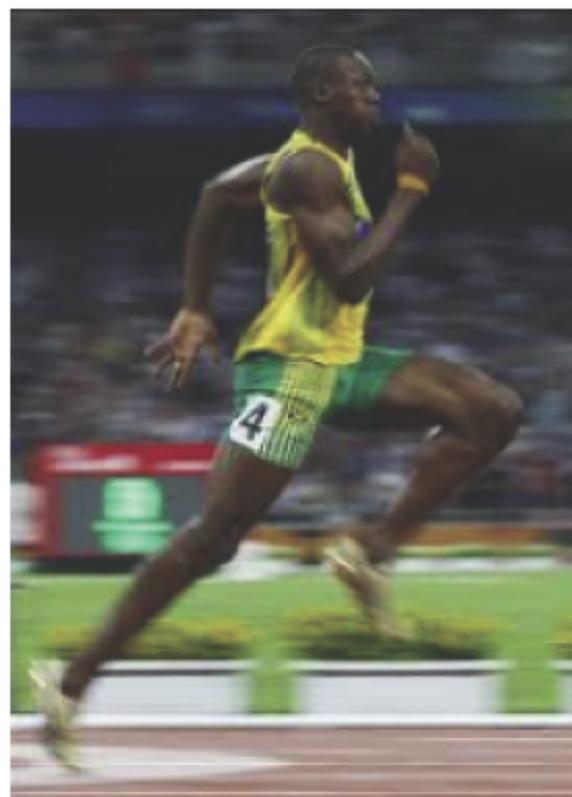
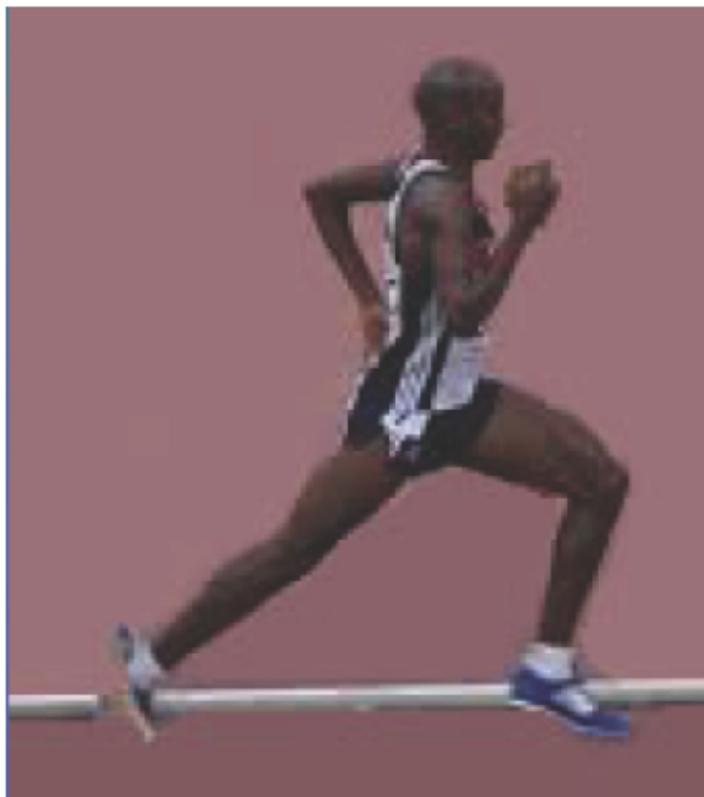
Ricordo a tutti che John Treacy, un fondista irlandese, dopo aver vinto due titoli mondiali di cross e non riuscendo ad essere molto elastico nella corsa su pista essendo fin troppo abituato all'erba ed al fango, dedicò un periodo di tempo specifico sul tappeto per adattarsi a fasi di maggior rimbalzo della corsa.

Vi ricordo che un velocista che corresse 30m in salita in 4"3 (la pendenza deve essere tale da rallentare di circa 0"8 rispetto alla prova in piano; in tale modo i tempi di contatto sono simili a quelli dei primi appoggi dopo l'uscita dai blocchi) andrebbe ad una velocità media di 25,1 km/h (toccando, quindi, punte di velocità massima ancora più elevate). Come potrebbe fare ciò con appoggi di pianta o peggio ancora di tallone?

Vi ricordo che un mezzofondista corre d'avampiede; solo quando è stanco o ... scarso, poggia la pianta; i tapascioni il tallone.

Vi ricordo che i non atleti, sono meno forti muscolarmente, hanno un appoggio più di pianta, un ginocchio più piegato, un tempo di contatto lunghissimo, etc... insomma sono un'altra cosa.

Onde evitare che qualcuno si azzardi a dire che la corsa del velocista e del mezzofondista sono diverse, ribadisco quanto detto e mostrato praticamente alla tavola rotonda: non esistono differenze nei canoni tecnici della corsa tra velocisti e mezzofondisti; in questi ultimi le azioni sono meno estremizzate per la inferiore velocità di traslocazione che essi hanno. La corsa del velocista è un continuo scendere “svelto” con il piede a terra per rimbalzare velocemente; il mezzofondista scende con il piede per forza di gravità limitandosi a rimbalzare, solo nello sprint finale la sua corsa rispecchia fedelmente quella del velocista. Nelle due figure seguenti sono presentate le immagini della corsa di Mo Farah e Bolt entrambi campioni olimpici a Londra; il primo nei 5000m e nei 10000m, il secondo nei 100m e nei 200m. Mo Farah ha un record di 26'46"57 sui 10.000 che corrisponde ad una velocità media di 22,4 km/h mentre Bolt ha punte di velocità superiori a 40 km/h. E' evidente come la corsa sia differente solo nelle azioni più accentuate di Bolt nella ricerca di parametri della corsa più elevati.

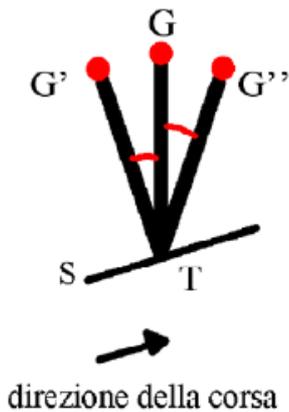


Concludendo: nella corsa in salita il busto è sempre in avanti, il baricentro è il più avanti possibile, il ginocchio sale maggiormente (creando i presupposti per una maggiore ampiezza in piano), la minore quantità di elasticità immagazzinata durante la fase d'appoggio richiede un maggiore contributo della parte contrattile del muscolo, l'angolo alla caviglia è più chiuso, l'appoggio è d'avampiede il più sotto possibile alla perpendicolare del baricentro (quindi poco avanti ad esso), e durante la spinta il punto d'appoggio è molto dietro la perpendicolare del baricentro e tale distanza aumenta all'aumentare della velocità.

Allora

come è possibile affermare che il baricentro nella corsa in salita è sulla verticale del punto d'appoggio per effetto di una media tra la sua posizione arretrata al momento del contatto del piede al suolo ed avanzata al momento del termine della spinta?

Il modello (che chiameremo NE), che giustifica questa affermazione è raffigurato di seguito ed ammette che gli angoli $G'TG$ e GTG'' siano uguali.



G, G', G'' = posizioni del baricentro
 $G'T$ = segmento baricentro-punto d'appoggio al momento del contatto con il suolo (inclinato dietro)
 $G'TG$ = angolo al momento dell'appoggio
 $G''T$ = segmento baricentro-punto d'appoggio al momento finale della spinta con il distacco del piede dal suolo (inclinato avanti)
 GTG'' = angolo al momento finale della spinta
 T = punto d'appoggio
 S = salita

Tale affermazione che la “media delle posizioni del soggetto è verticale”, poi, varrebbe anche in piano! E' vero questo? ASSOLUTAMENTE NO!!! E' completamente sbagliato e non trova riscontro né nella corsa in piano, né in quella in salita.

La dimostrazione di questa grave inesattezza è visibile nelle due immagini seguenti relative alla corsa di un grande campione del passato come Valery Borzov (per i non addetti ai lavori vinse le Olimpiadi di Monaco nel 1972 nei 100m con 10"07 ed i 200m con 20", ma sui 100 arrivò a 10"), dove è evidentissimo come l'angolo formato dalla semiretta che ha origine nel baricentro ed è perpendicolare al suolo e dalla semiretta che ha origine nel baricentro e passa per il punto d'appoggio del piede al suolo, sia tra i due momenti della fase di contatto del piede al suolo durante la corsa (momento di presa di contatto del piede al suolo dopo la fase di volo il primo, e momento di spinta precedente la fase di volo il secondo), completamente diverso (molto chiuso il primo, molto aperto il secondo).

Si precisa che le immagini raffigurano l'atleta a fine gara e, quindi, a velocità costante, o al limite leggermente calante, ma di certo non in aumento, e che nella immagine di sinistra il piede di Borzov non è ancora a contatto con il suolo, e che quindi questo, arretrando ulteriormente il piede (consultate “Principi di meccanica applicati all'atletica leggera” di Dyson) avverrà ancora più vicino alla perpendicolare del baricentro riducendo ulteriormente l'angolo .



In salita, per effetto della maggiore inclinazione in avanti per le ragioni meccaniche precedentemente espresse, questa differenza continua ad esserci (per ulteriori conferme chiedere al Prof. Vittori).

Nella figura seguente è rappresentata una sequenza di corsa di due passi; dalla spinta della gamba destra, all'appoggio successivo della stessa gamba.



Per precisione si forniscono i dati della prova: la pendenza della salita è dell' 8,1% (la pendenza è stata misurata con una strumentazione digitale con puntatore laser), la ripresa è stata effettuata dopo circa 25 metri per fare sì che l'osservazione sull'atleta avvenisse su un tratto di corsa percorso a velocità costante, il tempo impiegato è stato di 5"2 sui 30 metri, la velocità non era, ovviamente, la massima del soggetto. A riprova che anche in salita il modello NE non trova riscontro alcuno nella realtà della corsa, sono presentate le immagini ai due estremi della sequenza: il momento della spinta ed il momento dell'appoggio. In entrambe le figure sono tracciati gli angoli formati dalle semirette perpendicolari del baricentro, e dalle semirette che originano dal baricentro e terminano sul punto d'appoggio al suolo.



Credo che la visione delle immagini non renda necessario alcun commento o spiegazione, tanto sono evidenti le differenze degli angoli nei momenti del contatto del piede al suolo e della spinta. Credo che non ci sia bisogno di alcuna dimostrazione geometrica per affermare che il modello NE non trova riscontro né nella corsa in piano, né nella corsa in salita. La sua sigla NE risulta essere, quindi, l'acronimo di NON ESISTENTE (o forse esistente nella fantasia o in chi ignora le leggi della fisica e la tecnica di corsa). Nel raffronto (ingiurioso per il livello dei soggetti), è evidente come nella corsa in salita l'angolo di appoggio sia leggermente più aperto rispetto alla corsa in piano; è evidente, quindi, come sia sbagliata l'affermazione che l'angolo di spinta e l'angolo di appoggio siano uguali.

Riguardo al posizionamento del baricentro nella corsa in salita, si ricorda che non va certo posizionato sul grande trocantere (come fanno alcuni), ma avanzato rispetto ad esso a causa dello sbilanciamento del corpo in avanti, e più in alto in quanto a quel livello la massa della parte del corpo sottostante è molto inferiore a quella della parte superiore (al riguardo esiste una bibliografia relativa al baricentro dei vari segmenti del corpo e del loro insieme in varie posizioni; consultate).

Oltre che ai particolari sul posizionamento dei punti d'appoggio rispetto alla perpendicolare del baricentro, invito ad osservare come nelle immagini precedenti il piede poggia a terra sia in piano che in salita; d'avampiede!!!

Chi non volesse credere a ciò, è invitato a venire a verificare (ma qualcuno, per evitare figuracce, verificasse prima da solo andando ad osservare un atleta correre in salita, e non "un soggetto che non sa correre" sul tapis roulant !!!).

In salita, come già spiegato, l'inclinazione del busto in avanti sposta il baricentro più in avanti e quindi in questo modo il piede si viene a trovare all'incirca alla distanza della perpendicolare del baricentro di quando corre in piano. Se ciò non fosse vero i tempi di contatto si allungherebbero tremendamente, mentre, come già detto, fino al 15% di pendenza ciò non accade. Il fenomeno dell'allungamento dei tempi di contatto avviene in conseguenza di due fattori in particolare modo: all'angolo al ginocchio che è più piegato e quindi al tempo di estensione dell'arto che diventa più lungo, ed alla diminuzione del contributo dell'energia elastica che, come già citato, secondo Minetti ed al. (1994), alla pendenza del 15% diminuisce del 32,5%, con relativa conseguenza dell'aumento dell'intervento della parte contrattile del muscolo..... E quindi il tempo di contatto aumenta non per l'avanzamento del piede rispetto alla perpendicolare del baricentro; il piede atterra sempre nello stesso modo perché più lui viene avanti e più il busto si inclina per aumentare il momento di ribaltamento che favorisce il moto. (Chiedere ancora agli alpini !!!)

E' incredibile quanto sia bassa (per non dire nulla) la conoscenza della corsa, e come i suoi principi elementari completamente sovvertiti.

Ricordo anche che un piede che atterra di pianta, o peggio ancora di tallone, cade molto avanti alla perpendicolare del baricentro e tende a rallentare notevolmente l'avanzamento oltre che a prolungare i tempi di contatto. Figuriamoci poi in salita dove il piede tende a prendere contatto in anticipo e cade un po' più avanti del normale a causa del piano inclinato, e proprio per sopperire a questo i corridori corrono ai ripari inclinandosi maggiormente in avanti.

Consiglio di osservare chi corre veramente in salita (meglio se velocista in quanto più evidente per la maggiore velocità di avanzamento), per potere verificare che è costretto (naturalmente) ad inclinarsi in avanti per procedere. Camminando o correndo a bassa velocità in salita poco pendente potete anche mettere tutta la pianta a terra o il tallone, ma parlate di atleti? Ad alta velocità ed ancor di più su pendenze elevate è praticamente impossibile; non parliamo poi di provare ad accelerare in questo modo.

Aggiungo, in riferimento alle oscillazioni del busto in avanti e dietro riportate da qualcuno, trattasi di un'azione denominata in gergo tecnico "titling"; trattasi di grave errore tecnico tipico di soggetti molto scorretti tecnicamente e dei tapascioni.

Riepilogando: a basse velocità si possono fare tante cose, ad alte velocità poche ed essenziali; per fare affermazioni, poi è meglio fare gli studi su atleti o soggetti comunque validi ed in condizioni "sollecitanti" (leggi niente passeggiate !!!).

Conclusione: in salita il soggetto inclina (in maniera naturale) il busto in avanti per diminuire la distanza tra la perpendicolare del baricentro ed il punto d'appoggio del piede anteriore; all'aumentare della velocità aumenta l'ampiezza del passo (e la distanza tra il punto d'appoggio nel momento della spinta e la perpendicolare del baricentro, mentre il piede prende contatto sempre poco avanti alla perpendicolare del baricentro per rallentare il meno possibile), ed il busto è costretto ad inclinarsi maggiormente per contrastare l'aumento della distanza precedentemente detta. Analogamente all'aumentare del dislivello il soggetto inclina (in maniera naturale) il busto in avanti per diminuire la distanza tra la perpendicolare del baricentro ed il punto d'appoggio del piede anteriore.

Un ultimo esempio: per salire su un gradino abbastanza alto, dopo aver poggiato il piede, siete costretti a portare il busto in avanti per diminuire la distanza tra il punto d'appoggio del piede sul gradino ed il baricentro per potere salire; provate a farlo tenendo il busto eretto (come in certe figure, o addirittura all'indietro), non riuscirete malgrado tutta la vostra forza.

Questo è per quanto riguarda gli schemi della corsa. Osservate le persone correre, (preferibilmente atleti), provate voi stessi e vi convincerete E poi fatemi sapere! Per alcuni, poi, sarebbe il caso anche di chiedere scusa.

Consiglio di consultare un docente universitario di fisica o un ingegnere, ed un tecnico della corsa, di sottoporli i vari modelli di corsa presentati... Vedrete cosa vi dirà al riguardo!