

Vittorio Baldini

# Cat twist: possibili sviluppi acrobatici

*La seguente ricerca, già presentata altrove, non presuppone nel lettore una conoscenza specifica della ginnastica sportiva o di altri sport acrobatici. L'appendice B è stata aggiunta al testo originale espressamente per i lettori di Gymnica. A tale appendice si rimanda chi abbia già approfondito i temi connessi agli avvistamenti con momento angolare nullo e/o sia interessato esclusivamente alle conclusioni pratiche di carattere tecnico-didattico.*

*La gloria di colui che tutto move  
per l'universo penetra, e risplende  
in una parte più e meno altrove.*

Dante, Par.1-3

## 1. Introduzione

Il moto è uno degli argomenti che più hanno attratto ed impegnato il pensiero dell'uomo in ogni tempo: il moto degli astri e della Terra, degli oggetti, degli animali, delle particelle atomiche e subatomiche. Ed è notevole che a tale impegno si debbano molte delle conquiste intellettuali e scientifiche che più hanno contribuito all'evoluzione culturale di Homo sapiens. Come è notevole, d'altronde, l'importanza che le modalità di movimento e le relative modificazioni hanno avuto nell'evoluzione biologica in generale, e dei Vertebrati e dell' Uomo in particolare. Da quando infatti, nel lontano paleozoico, iniziarono a differen-

ziarsi i primi vertebrati dotati di mascelle<sup>1</sup>, la capacità di interpretare l'ambiente circostante e di muoversi opportunamente e rapidamente rispetto ad esso, acquistarono un significato straordinario. E molto più recentemente, solo pochi milioni di anni fa, straordinarie furono le conseguenze evolutive che il bipedismo, e la nuova motricità ad esso associata, determinarono in un' importante Famiglia dell'Ordine dei Primati; Famiglia di cui siamo oggi gli ultimi - ed unici - rappresentanti.

Ciò che verrà discusso in questa ricerca, si basa sulla fisica di un classe di movimenti - le rotazioni del corpo con momento angolare nullo - il cui interesse biomeccanico e naturalistico è da considerare di un certo rilievo.

### 1.1 La legge di conservazione del momento angolare

L'interpretazione fisica del moto di un corpo è teoricamente sempre possibile, anche se, talvolta, può assumere forme estremamente complesse. Fortunatamente, per quanto verrà trattato in seguito, è possibile far riferimento ad una legge di conservazione. Le leggi di conservazione, in Fisica, hanno un significato particolare, in quanto consentono di descrivere determinati fenomeni in termini relativamente semplici. Quando in un sistema una determinata grandezza fisica si mantie-

<sup>1</sup> "L'assenza o presenza di mascelle è ... un carattere anatomico di tale importanza, da far dividere i Vertebrati in due grandi gruppi, degli Agnati e degli Gnatostomi", cfr. Padoa 1994. 31

ne costante, infatti, risulta molto più semplice prevedere l'evoluzione del sistema.

In pratica, le leggi di conservazione richiedono alcuni accorgimenti per poter essere applicate: per quanto verrà qui esposto, tali accorgimenti riguardano la riduzione degli attriti.

La legge di conservazione che qui interessa può essere enunciata nel seguente modo: il momento angolare di un sistema isolato è costante. Essendo il momento angolare il prodotto fra momento di inerzia e velocità angolare, e la condizione di "isolato" soddisfatta dall'assenza di forze agenti sul sistema, si può enunciare lo stesso principio in questi termini: in assenza di forze esterne, per un qualsiasi corpo è costante il prodotto fra momento di inerzia e velocità angolare. Vi è una analogia fra inerzia (massa) e momento di inerzia che aiuta a comprendere il significato di quest'ultimo termine. Esso è il corrispettivo, nelle rotazioni, della proprietà manifestata da un oggetto nel "rispondere" - sotto il profilo del moto - alle sollecitazioni di una forza.

La massa di un oggetto è definita come il rapporto esistente fra la forza risultante applicata e l'accelerazione dell'oggetto stesso. Analogamente, il momento di inerzia può essere definito come il rapporto fra il momento delle forze applicate ("coppia") e l'accelerazione angolare.

Con riferimento all'esperienza sensoriale, si può dire che la facilità con cui è possibile indurre, oppure fermare, la rotazione in un oggetto, dipende da una sua proprietà, chiamata momento di inerzia.

Vi sono tuttavia alcune importanti differenze fra massa e momento di inerzia, che rendono imperfetta l'analogia proposta.

Mentre la massa di un oggetto non dipende dalla disposizione spaziale delle particelle elementari che lo compongono (cioè dalla forma geometrica), il momento di inerzia varia considerevolmente con la distanza delle particelle rispetto all'asse di rotazione (precisamente con il quadrato di tale distanza). Ne segue che il momento di inerzia di un corpo dipende dalla sua forma (che, se il corpo non è rigido, può cambiare) e anche dal particolare asse di rotazione considerato.

Nel paragrafo successivo sono riportati alcuni esempi al riguardo.

## 1.2 Semplici esempi biomeccanici

Si abbia un pattinatore che, dopo la fase di spinta, mantenga i pattini fra loro paralleli ed ortogonali al ghiaccio: la sua velocità lineare rimane comunque costante, qualunque posizione o successioni di posizioni del corpo vengano assunte. Similmente si abbia un pattinatore, che dopo la fase

preparatoria ad una piroetta, sia in rotazione rispetto al suo asse verticale (Fig. 1).

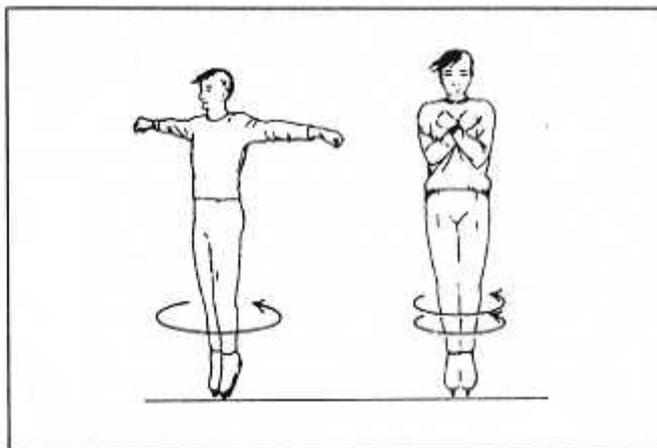


Fig. 1 (da Burns e Mac Donald 1975).

Al variare delle posizioni del corpo, il momento di inerzia cambia, e la velocità di rotazione varia conseguentemente, mantenendo così inalterato, in ogni istante, il momento angolare. In accordo con quanto previsto dalla legge di conservazione:

$$\text{momento di inerzia} \times \text{velocità angolare} = \text{costante}$$

Un altro caso riportato spesso ad esemplificazione è quello della sedia o della piattaforma girevole: lo sperimentatore può verificare facilmente come, variando la disposizione di alcuni segmenti corporei - tipicamente le braccia - si modifichi la velocità di rotazione. Per apprezzare quanto possa variare il momento di inerzia del corpo umano rispetto ad un determinato asse di rotazione, si consideri la Fig. 2:

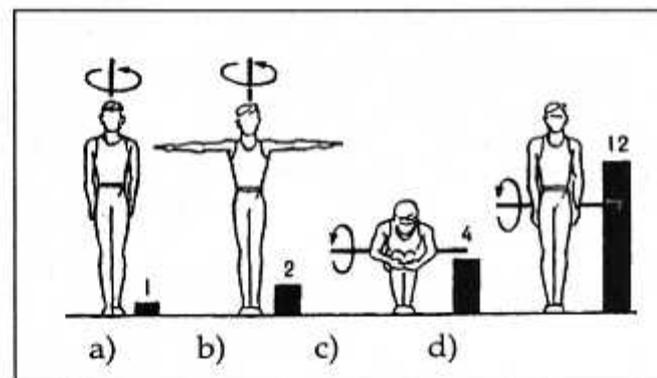


Fig 2 (da Donskoj e Zatziorskij 1979).

dalla posizione b) alla a) il momento di inerzia rispetto all'asse verticale risulta dimezzato (è il caso del pattinatore di Fig. 1), mentre il momento di inerzia rispetto all'asse orizzontale varia, dalla po-

sizione c) "raggruppata" a quella d) "tesa," addirittura di un fattore 3. Quest'ultimo caso è facilmente visibile negli sport acrobatici - soprattutto ginnastica e tuffi - in cui le rotazioni rispetto all'asse trasversale del corpo (indicato nel gergo tecnico di queste discipline come "asse di salto"), sono almeno altrettanto frequenti delle rotazioni rispetto all'asse longitudinale ("asse di avvitemento").

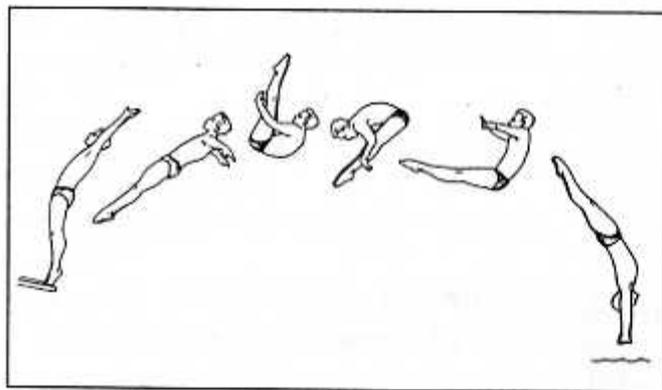


Fig. 3 - esempio di rotazione rispetto all'asse trasversale - di salto - con variazione del momento di inerzia (da O'Brien 1992).

### 1.3 Casi enigmatici

Non tutti i casi biomeccanici in cui è implicata la legge di conservazione del momento angolare sono tuttavia di così immediata comprensione. Le situazioni probabilmente più significative ed interessanti appaiono anzi come paradossi. Di questi ultimi, il mezzo avvitemento con cui un gatto, lasciato cadere dorsalmente, atterra sulle zampe, è quello più conosciuto. L'apparente paradosso consiste in questo: il momento angolare del gatto nell'istante in cui lo sperimentatore - che lo tiene sospeso per le zampe - lo lascia cadere, è zero. Nullo è pure il momento risultante delle forze che agiscono sull'animale durante la fase di caduta (praticamente le sole forze di gravità, dal momento che si può trascurare la resistenza dell'aria). Quindi il momento angolare che, in base alla relativa legge di conservazione, deve rimanere costante, risulta essere costantemente uguale a zero.

Ma come può il gatto compiere una rotazione se il suo momento angolare è nullo?

### 1.4 La fisica degli esercizi acrobatici

La risposta a questo interrogativo non è banale. Nel 1979 compare sull' *American Journal of Physics*

<sup>2</sup>Quando il momento angolare di un corpo rigido è zero, vuol dire che almeno uno dei due termini momento di inerzia e velocità angolare è nullo. Ma nel caso considerato entrambi i termini appaiono diversi da zero. Il gatto ha una massa ed una estensione, quindi il suo momento di inerzia rispetto ad un qualsiasi asse di rotazione non può essere

un contributo che costituisce una sorta di pietra miliare della materia, dal titolo significativo: "Do springboard divers violate angular momentum conservation?"<sup>3</sup>. Su *Scientific American*, l'hanno successivamente, lo stesso Autore<sup>4</sup> riprende in forma divulgativa quanto già trattato nel precedente articolo; il sottotitolo è: "Divers, gymnasts, astronauts and cats can do rotational maneuvers in midair that may seem to violate the law of conservation of angular momentum but in fact do not". Le argomentazioni presentate in questi lavori possono essere suddivise in due categorie. Una relativa agli avvitementi che, come quello del gatto, vengono eseguiti in volo partendo da una condizione di momento angolare nullo rispetto ad un qualsiasi asse di rotazione. L'altra relativa ad avvitementi che vengono eseguiti in volo partendo da una condizione in cui è zero solo il momento angolare rispetto all'asse di avvitemento, ma non rispetto all'asse di salto (ed è la situazione più frequente per ginnasti e tuffatori).

Di queste argomentazioni, per rispondere al quesito con cui si è chiuso il paragrafo precedente - e per quanto sarà considerato in seguito - occorrerà riportare solo quelle inerenti alla prima categoria, rimandando senz'altro agli articoli citati per una trattazione completa.

In sintesi: il gatto gira senza violare la legge di conservazione perché si "scompone" in due parti. Le due parti vengono ruotate nello stesso senso e l'intero corpo ruota in senso opposto, conservando il momento angolare. Ciò è possibile in quanto fra le due parti viene mantenuto un certo angolo. La Fig. 4 presenta un modello schematico del processo:

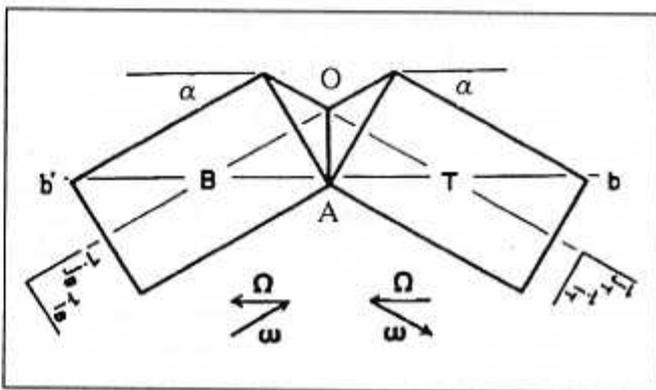


Fig. 4 - (da Frolich 1979)

I due cilindri T e B ruotano attorno ai rispettivi as-

si. Inoltre compie mezzo giro in un determinato tempo, e quindi sembra avere una velocità angolare non nulla. L'origine del paradosso sta nel fatto che il gatto non si comporta come un corpo rigido.

<sup>3</sup>Frolich 1979. 583-92.

<sup>4</sup>Frolich 1980. 112-20.

si di simmetria con velocità angolari  $\omega_T$  e  $\omega_B$  di uguale modulo  $\omega$ , mantenendo un contatto reciproco tramite le rispettive superfici coniche terminali (che non scivolano l'una rispetto all'altra). Contemporaneamente, l'intero sistema ruota attorno all'asse  $bb'$  con velocità angolare  $\Omega$ , in senso opposto. Fissando i versori  $i_T, i_B, j_T$  e  $j_B$  come in Fig. 4 e chiamando  $I$  il momento di inerzia di ciascun cilindro e  $J$  quello dell'intero sistema rispetto ai relativi assi di rotazione, si possono scrivere le seguenti equazioni per i momenti angolari dei due cilindri ( $H_T$  e  $H_B$ ):

$$H_T = J\omega j_T - J\Omega \cos\alpha j_T + I\Omega \sin\alpha i_T$$

$$H_B = J\omega j_B - J\Omega \cos\alpha j_B - I\Omega \sin\alpha i_B$$

la cui somma vettoriale è il momento angolare dell'intero sistema:

$$H_T + H_B = J\omega(j_T + j_B) - J\Omega \cos\alpha(j_T + j_B) + I\Omega \sin\alpha(i_T - i_B)$$

quindi, se il momento angolare è zero, si ha:

$$J(\omega - \Omega \cos\alpha)(j_T + j_B) + I\Omega \sin\alpha(i_T - i_B) = 0$$

risolvendo le componenti  $(j_T + j_B)$  e  $(i_T - i_B)$  rispetto a  $bb'$ , si ha:

$$\omega/\Omega = ((1 + \cos^2\alpha)(J/I - 1))/((J/I)\cos\alpha)$$

e da questa equazione si constata che se, per esempio,  $\alpha = 60^\circ$  e  $I=J$  si ottiene:

$$\omega/\Omega = 2$$

ovvero quando i due cilindri compiono un giro attorno ai loro rispettivi assi, l'intero sistema compie esattamente mezzo giro in verso "opposto". E questo dimostra che fisicamente è possibile, per un corpo non rigido, compiere rotazioni conservando un momento angolare nullo. I gatti e gli uomini, e probabilmente anche altri animali, usano questa tecnica - anche integrata con "aggiustamenti" dei momenti di inerzia delle varie parti del corpo - per compiere rotazioni nei casi in cui è impossibile utilizzare forze esterne. Ad ogni modo è fondamentale sottolineare che le "manovre" richieste sono complesse ed interdipendenti. Comunque più complesse e soprattutto inusuali di quelle necessarie alla torsione di una parte del corpo rispetto ad un'altra, per esempio della testa rispetto al tronco. Atto motorio, questo, con cui non è possibile produrre - è bene sottolinearlo - alcuna rotazione in volo.

## 2. Finalità della ricerca

*In Natura non esistono fenomeni dei quali si possa capire correttamente l'essenza senza porsi il problema della loro origine.*

N.A. Bernstein

Il riflesso del mezzo giro osservabile nel Gatto, e gli avvistamenti eseguiti dagli acrobati, anche quando si basano sulla medesima tecnica esecutiva, si differenziano comunque da un punto di vista neurofisiologico. In un caso si tratta di sequenze motorie innate, geneticamente determinate, già complete e codificate in qualche modo e da qualche parte nel sistema nervoso centrale, e scatenate ineluttabilmente dai segnali sensoriali associati ad una caduta dorsale. Nell'altro caso, invece, tali sequenze rientrano in un repertorio motorio appreso - spesso dopo un lungo ed impegnativo addestramento - e sono eseguite volontariamente.

Tuttavia proprio durante l'iter addestrativo di questa abilità motoria, è possibile riconoscere una sorta di "predisposizione". Alcuni soggetti, in determinate condizioni didattiche<sup>5</sup>, risolvono il problema di girarsi in volo senza ricevere alcuna istruzione al riguardo. E' come se, improvvisamente, "ricordassero qualcosa". Ciò è reso particolarmente evidente dal concorso di due fattori. La sequenza motoria necessaria è completamente diversa da quelle, molto più "intuitive", con le quali si generano gli avvistamenti per mezzo dell'interazione con un vincolo<sup>6</sup>. Inoltre si manifesta una situazione del tipo "tutto o nulla": il movimento riesce o non riesce, non vi sono cioè fasi intermedie o stadi di approssimazione successiva. E' lecito ritenere che in *Homo sapiens* esista uno schema motorio innato, analogo a quello descritto in *Felis catus*?

La finalità della presente ricerca è rispondere a questo interrogativo, unitamente alla presentazione di un semplice metodo di studio individuato al riguardo. Tale metodo ha consentito di chiarire inequivocabilmente alcune incertezze interpretative riguardanti la biomeccanica di alcuni movimenti e si è rivelato essere anche un efficace strumento didattico e dimostrativo per quanto concerne la legge di conservazione del momento angolare.

colaramente stabile.

<sup>5</sup>Un semplice esempio - di cui tutti hanno esperienza - è il saltello sul posto a piedi uniti con mezzo giro. La tecnica esecutiva consiste nel ruotare il busto ed il capo rispetto alla parte inferiore del corpo, che non può girare in senso opposto - come farebbe in assenza del vincolo - a causa dell'attrito dei piedi col il suolo. Al momento dello stacco, il momento angolare così generato è responsabile della rotazione dell'intero corpo rispetto all'asse longitudinale. Questo tipo di avvistamenti è molto più "intuitivo" di quelli "a momento angolare zero", in quanto è una semplice derivazione del movimento fondamentale dell'orientamento: rotazione del capo.

<sup>6</sup>Questa affermazione si basa sulle esperienze degli allenatori della ginnastica artistica. In questa disciplina gli avvistamenti che traggono origine dalla interazione con un vincolo sono i più frequenti. Tuttavia vi è un indirizzo didattico che dà un particolare rilievo agli avvistamenti iniziati in volo; essi sono più spettacolari ed hanno il vantaggio di non sottoporre le articolazioni alla sollecitazione di momenti torcenti nella fase di stacco e di arrivo. Alcuni allenatori portano i loro atleti all'apprendimento del mezzo avvistamento curandosi esclusivamente degli aspetti inerenti il movimento al quale il mezzo avvistamento è associato, senza fornire alcuna indicazione sulla tecnica realizzativa di quest'ultimo; L'acquisizione degli avvistamenti con questa metodologia risulta parti-

### 3. Metodi

L'esperienza cruciale - l'esperimento della caduta come la si esegue col gatto - nel caso dell'uomo è improponibile<sup>7</sup>. Inoltre, la possibilità di eseguire osservazioni su cadute accidentali con fase di volo, è fortunatamente nulla. Si presentano quindi due possibilità. La prima, valutare in una popolazione più estesa ed eterogenea di quella degli "acrobati", la predisposizione ad eseguire, seppur volontariamente, un movimento meccanicamente identico al "cat twist" (senza però ricevere alcuna indicazione realizzativa). La seconda, compiere osservazioni su riflessi che posseggano una qualche analogia<sup>8</sup> con quello del gatto.

L'apparato sperimentale scelto per valutare i "cat twists" deriva da uno dei sei attrezzi olimpici della ginnastica artistica maschile. Sostanzialmente si tratta di due anelli in legno sospesi con cavi di acciaio ad una struttura portante chiamata "castello". I cavi che sostengono gli anelli sono fra loro indipendenti e collegati al castello da un giunto girevole a basso attrito, che ha lo scopo di impedire torsioni ai cavi di acciaio durante le esecuzioni.

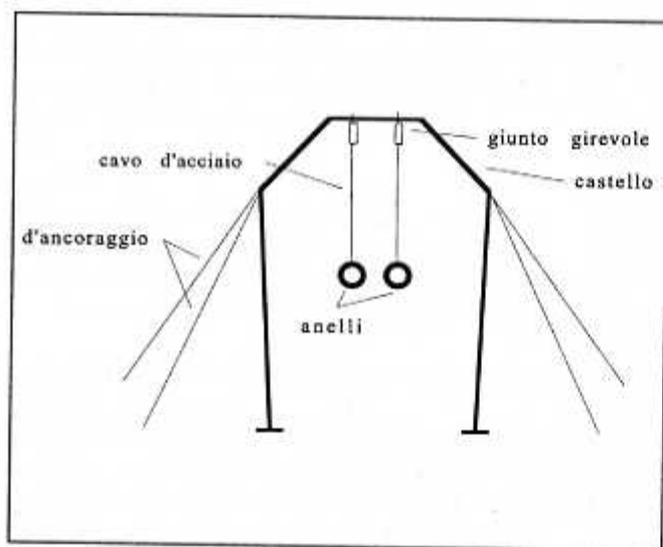


Fig. 5 - rappresentazione schematica dell'attrezzo olimpico denominato "anelli"

Per inciso, le modalità d'utilizzo che qui interessano, sono completamente diverse da quelle che caratterizzano l'impiego agonistico di questo attrezzo. Infatti, per verificare in un soggetto la capacità di compiere avvitamanti con momento angolare nullo, è richiesta la sospensione del medesimo ad un singolo anello, come rappresentato in Fig. 6. L'unico requisito necessario è quello di riuscire a mantenere la presa per pochi istanti.

<sup>7</sup>Non si può, per ovvie ragioni, sottoporre un individuo ad una situazione di inaspettata caduta dorsale, senza preavvisarlo. Ma il preavviso "inquina" inevitabilmente la risposta. Il problema della

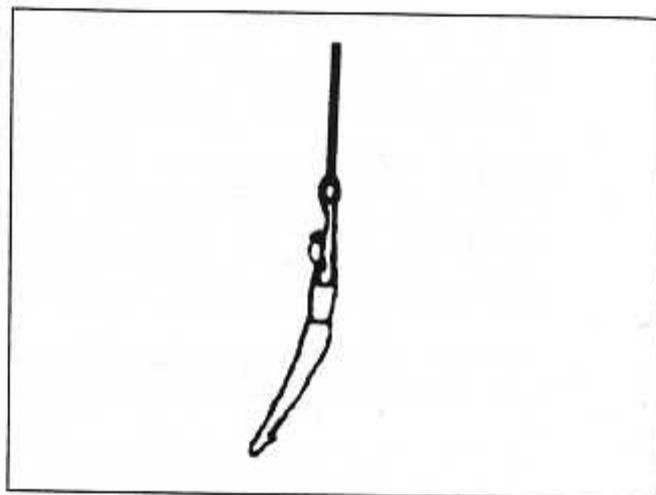


Fig. 6.

Da un punto di vista fisico - per quanto concerne le rotazioni sull'asse longitudinale - il corpo umano, sospeso in tal modo, è isolato. Per verificare l'effettiva funzionalità di questa attrezzatura sono state eseguite - e registrate su videocassetta - alcune esperienze.

- Esperienza n° 1

L'esecutore in sospensione viene posto in rotazione da un assistente: la velocità di rotazione si mantiene costante (per velocità basse e tempi non troppo lunghi).

- Esperienza n° 2

L'esecutore salta verticalmente da terra alla sospensione all'anello: nella fase di sospensione non si registra alcuna rotazione.

- Esperienza n° 3

L'esecutore salta verticalmente da terra alla sospensione, compiendo una torsione del busto sulle gambe durante la fase di stacco: nella fase di sospensione si registra una rotazione di verso omologo. La velocità di rotazione è costante.

- Esperienza n° 4

L'esecutore viene posto in sospensione fermo: l'esecutore ruota il busto rispetto alle gambe. Non si generano avvitamanti.

- Esperienza n° 5

L'esecutore in sospensione viene posto in rotazione da un assistente: viene modulata la velocità di rotazione divaricando in modo più o meno accentuato gli arti inferiori. Ritornando alla posizione iniziale, la velocità angolare torna al valore iniziale.

- Esperienza n° 6

L'esecutore viene posto in sospensione fermo: vengono eseguiti gli avvitamanti utilizzando la

incolumità fisica, invece, sarebbe del tutto risolvibile.

<sup>8</sup>Per le caratteristiche fisiche dei movimenti e/o per le situazioni "scatenanti".

tecnica descritta al paragrafo 1.4. La rotazione inizia e termina simultaneamente alle azioni dell'esecutore (la qual cosa può essere evidenziata richiedendo la sincronizzazione su segnali intervalati in modo casuale).

• Esperienza n° 7

L'esecutore in sospensione viene posto in rotazione da un assistente: viene aumentata la velocità di rotazione senza modificare il momento di inerzia di nessuna parte del corpo. Al cessare dei movimenti dell'esecutore, la velocità angolare riprende il valore iniziale.

• Esperienza n° 8

L'esecutore in sospensione viene posto in rotazione da un assistente: viene diminuita la velocità di rotazione senza modificare il momento di inerzia di nessuna parte del corpo. Al cessare dei movimenti dell'esecutore, la velocità angolare riprende il valore iniziale.

• Esperienza n° 9

Come precedente: il verso della rotazione viene invertito. Al cessare dei movimenti dell'esecutore, la velocità angolare riprende il valore ed il verso iniziale.

• Esperienza n° 10

Come precedente: la rotazione longitudinale del corpo viene annullata. Al cessare dei movimenti dell'esecutore, la velocità angolare riprende il valore iniziale.

• Esperienza n° 11

L'esecutore viene posto in sospensione fermo: divaricando le gambe sagittalmente e ricongiungendole dopo aver descritto due semicerchi (di verso opposto), il corpo si trova ruotato di un certo angolo.

Delle situazioni proposte nelle diverse esperienze, il significato è il seguente:

n° 1 - viene verificato che l'attrito del giunto e quello esercitato dall'aria sono trascurabili e che non vi sono altri momenti di forza in direzione verticale agenti sul sistema: il momento della quantità di moto si conserva.

n° 2 - se nell'interazione con un vincolo non vengono generate delle coppie torcenti, nell'eventuale successiva fase di volo il momento angolare è nullo.

n° 3 - se nell'interazione con un vincolo vengono generate delle coppie torcenti (per esempio con la semplice torsione del busto sulle gambe) nell'eventuale successiva fase di volo il momento angolare non è nullo.

n° 4 - in un sistema isolato la semplice torsione di una parte del corpo non produce avvitamamenti ma solo una torsione in senso opposto della rimanente parte del corpo.

n° 5 - è l'analogo, in sospensione, degli esempi della sedia o del pattinatore. Le variazioni di velocità angolare che possono essere ottenute sono molto evidenti (le gambe hanno una massa maggiore delle braccia ma soprattutto sono più lunghe).

n° 6 - è la dimostrazione pratica che è possibile compiere avvitamamenti con momento angolare nullo (cat twists).

n° 7,8,9,10 - sono tutte varianti della prova n° 6. Rispetto a quest'ultima cambia, fondamentalmente, la condizione di partenza: l'esecutore non è fermo, ma ruota con una certa velocità angolare. L'avvitamento a momento angolare nullo si "sovrappone" - restando indipendente - a quello impartito dall'assistente (o generato con l'interazione di un vincolo, come nella esperienza n° 3). Le velocità angolari delle due rotazioni si sommano o si sottraggono a seconda dei loro versi.

n° 11 - viene visualizzata un'altra possibile procedura per compiere rotazioni - in questo caso frazioni di giro - con momento angolare nullo.

La seconda possibilità di indagine - l'analisi di riflessi con particolari caratteristiche - è stata sviluppata in due ambiti: quello degli squilibri alla trave e quello dei riflessi nei neonati. La trave è un attrezzo olimpico della ginnastica artistica femminile. Si tratta di una "passerella" lunga 5 m e larga 10 cm, collocata a 1.2 m di altezza da terra. Si presta particolarmente all'osservazione che ci si è proposti per diversi motivi: è disponibile una documentazione filmata imponente e le situazioni di squilibrio sono frequenti. Ma soprattutto vi è un aspetto che rende questo attrezzo probabilmente unico per l'osservazione delle reazioni umane agli squilibri: le atlete hanno paura di cadere. Una caduta compromette infatti irrimediabilmente l'esito agonistico di una competizione, vanificando il duro lavoro di una preparazione sempre lunga e difficile. Negli esercizi alla trave si può agevolmente osservare la completa varietà delle risposte motorie umane ai vari tipi di sbilanciamento. Qui, ne sarà considerata una sola, dopo un'affermazione di carattere generale: sono tutte sequenze automatiche, involontarie, altamente predeterminate<sup>9</sup>. Se la perdita di equilibrio è di un certa entità, si os-

<sup>9</sup>È stato scritto, nelle biografie della grande campionessa romena Nadia Comaneci, che una delle sue molte doti fosse quella di saper "mascherare" i movimenti bruschi e sgraziati che inevitabilmente vengono scatenati da uno squilibrio. Ed in effetti, anche nel suo caso, il gesto

iniziava in maniera involontaria ed "incontrollata" ma prima ancora che fosse concluso il suo decorso normale, veniva "ripreso" e modificato volontariamente, per essere tradotto in una movenza graziosa e, spesso, accattivante.

serva frequentemente la seguente sequenza: i piedi si dispongono trasversalmente all'asse longitudinale dell'attrezzo mentre le dita si flettono, il busto viene inclinato bruscamente verso gli arti inferiori mentre quelli superiori descrivono caratteristiche e rapide rotazioni. Sia l'inclinazione del busto che la rotazione delle braccia seguono sempre un'identico schema: se lo sbilanciamento è ventrale il busto si flette in avanti e le braccia compiono rotazioni che, dal punto di vista dell'esecutore stesso, appaiono orarie per il braccio sinistro ed antiorarie per il braccio destro. Se lo sbilanciamento è dorsale, le azioni del busto e degli arti superiori sono opposte a quelle appena descritte. L'efficacia e la complessità di questa "procedura" si manifesta completamente in una congiuntura che pure è frequente negli esercizi alla trave: i movimenti che vengono eseguiti per fronteggiare uno sbilanciamento, per esempio ventrale, possono sortire un effetto sovrabbondante ed allora, immediatamente, si scatenano le risposte tipiche dello sbilanciamento dorsale. Tutto ciò, naturalmente, non ha richiesto mai una sola parola d'istruzione ed è presente, con identiche caratteristiche, in soggetti di ogni età e grado di specializzazione. Infine resta da considerare il campo dei riflessi neonatali. Ve n'è almeno uno, il riflesso o reazione di Moro, che è scatenato dalla sensazione di caduta dorsale (sensazione che si ottiene agendo sulla superficie su cui l'infante è adagiato supino).

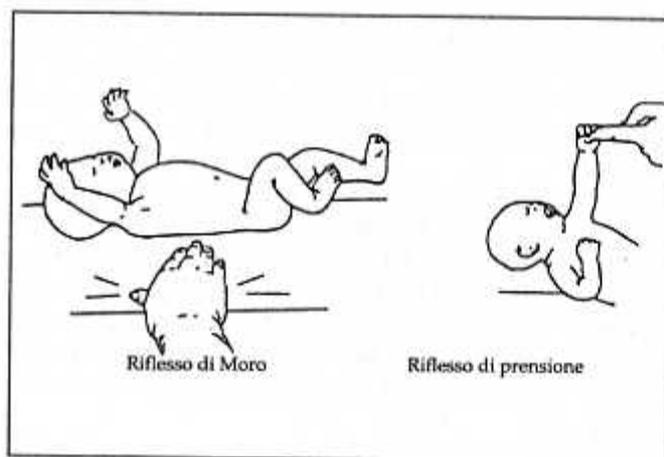


Fig. 7 - due importanti riflessi neonatali (da Rosenbaum 1991)

Questo riflesso è caratterizzato da un movimento simmetrico degli arti superiori che vengono prima portati in fuori, poi in avanti ed infine raccolti al petto, mentre gli arti inferiori si distendono. Contemporaneamente nelle mani si osserva il riflesso

<sup>10</sup>Questa tecnica non viene considerata nel presente articolo, in quanto essa riveste, almeno nel riflesso da caduta del Gatto, un significato secondario.

<sup>11</sup>Frolich, 1980. 120

di prensione. La reazione di Moro viene interpretata come la ricerca di un appiglio, il tentativo del neonato di abbracciare qualcosa o qualcuno. Ha anche un importante significato diagnostico: i tempi e i modi in cui si manifesta sono correlati allo sviluppo ed all'efficienza del sistema nervoso centrale.

#### 4. Discussione

La natura fisica del "cat twist" non è soltanto un'interessante problema di meccanica. Senza questa base interpretativa è impossibile stabilire la reale connessione fra cause ed effetti, fra singoli atti motori e relative conseguenze. Questo, da un punto di vista fisiologico, è un aspetto importante. Sarà senz'altro ripreso più avanti, dopo aver esposto le conclusioni di carattere biomeccanico a cui si è giunti in questa ricerca.

Frolich, nell'articolo pubblicato su Scientific American, sostiene che "in linea di principio" uomini e gatti possono eseguire il "cat twist" senza l'ausilio di variazioni dei momenti di inerzia delle parti superiore ed inferiore del corpo<sup>10</sup>. Ma sostiene anche che "è una questione aperta" se uomini e gatti, in pratica, "necessitano" o meno di tali variazioni, nell'eseguire rotazioni con momento angolare nullo. Egli riporta - sempre nello stesso articolo - il parere di T.R. Kane e M.P. Scher della Stanford University e di D. McDonald del St. Bartholomew's Hospital di Londra. I primi sostengono, sulla base dell'analisi di sequenze fotografiche, che i gatti non abbiano bisogno di variare i momenti di inerzia, mentre il secondo, in base alle proprie osservazioni, non si è detto in grado di trarre conclusioni al proposito. Infine lo stesso Frolich conclude che la maggior parte dei ricercatori, se stesso compreso, pensano che in pratica gatti e uomini varino i momenti di inerzia relativi delle diverse parti del corpo eseguendo movimenti con gli arti<sup>11</sup>. L'esperienza che è stata più sopra riportata con il n° 6 è decisiva in merito: gli uomini (e quindi presumibilmente anche i gatti) possono compiere anche in pratica dei "cat twists" senza variare il momento di inerzia della parte superiore ed inferiore del corpo. I movimenti degli arti, che pure sono visibili nelle sequenze del gatto, possono avere una funzione di facilitazione coordinativa, oltre a quella, naturalmente, di preparazione all'atterraggio. Nel contesto della valutazione biomeccanica del movimento in questione, l'esperienza n°10 appare particolarmente significativa. Non è noto che sia stata precedentemente descritta o realizzata: conviene quindi considerarne l'utilità dettagliatamente, prescindendo da quella, ovvia e generica, di costituire una dimostrazione singolare e curiosa della legge di conservazione del momento angolare.

In questa prova, l'esecutore "regola" la velocità del "cat twist" in modo da renderla uguale ed opposta (in modulo e verso) a quella della rotazione originale (acquisita ad esempio tramite l'intervento di un assistente). L'effetto che consegue ripropone, *ma con termini invertiti*, il paradosso da cui è iniziata tutta l'analisi: in questo caso il corpo non si avvita, eppure ha un momento angolare non nullo!

Questa situazione non è solo curiosa. Si è accennato precedentemente al fatto che l'interpretazione delle sequenze fotografiche degli avvitiamenti può risultare incerta e problematica. Ciò dipende dal fatto che solitamente è impossibile "isolare" i vari moti che contemporaneamente animano - ed in modo tanto complesso - il soggetto che si intende studiare. Nel caso dell'esperienza in questione, invece, le azioni responsabili del "cat twist" appaiono in tutta evidenza, perchè ad esse non si sovrappone alcun movimento di rotazione (avvitiamento) rispetto all'osservatore. Esse possono essere quindi osservate - pur nella loro piena realtà e funzionalità - in condizioni ottimali<sup>12</sup>. Presumibilmente, almeno sulla Terra, uniche. Ed anche solo da una visione d'insieme, risulta chiaramente quanto le azioni fondamentali del movimento siano efficaci e poco appariscenti. Probabilmente troppo poco appariscenti - soprattutto nel caso di un singolo mezzo giro - per poter essere individuate chiaramente da quanti, dai lavori di Marey<sup>13</sup> in poi, hanno pur tuttavia osservato le sequenze di questa "prodezza" motoria. Prodezza interpretata spesso, di conseguenza, enfatizzando eccessivamente l'importanza dei movimenti - molto più visibili, ma molto meno determinanti - degli arti e della testa.

La realtà fisica ha sostanziali implicazioni sulla prospettiva ontogenetica e filogenetica del cat twist. Le varie abilità motorie della locomozione animale<sup>14</sup>, hanno nell'interazione con un vincolo il loro elemento unificatore. Ciò consente la formazione di un "bagaglio comune" da cui un programma motorio può prelevare, a seconda delle

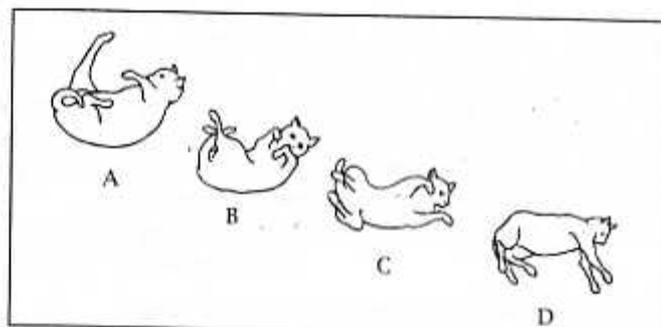


Fig. 8 - Il mezzo avvitiamento da caduta nel Gatto (da Monnier 1970).

circostanze, dei sottoprogrammi già pronti e collaudati. Inoltre, in molti casi, l'apprendimento ed il perfezionamento del movimento può procedere gradualmente, per prove ed errori, anche quando si basa su schemi motori innati. Da un punto di vista fisiologico è questo che rende il "cat twist" un movimento speciale: pur avendo un grado di complessità elevato, non è consentito un approccio graduale<sup>15</sup> e viene utilizzato un "meccanismo" fisico che non compare in altre abilità motorie. Vi è ancora almeno un'altra singolarità fisiologica legata al "cat twist": la caduta libera è l'unica condizione in cui un animale dipende esclusivamente dalle sue percezioni vestibolari<sup>16</sup>.

Forse la sola eccezione notevole all'unicità del meccanismo fisico del "cat twist" è costituita dalla sequenza motoria descritta in precedenza a proposito degli squilibri alla trave. Meccanicamente è anch'essa mirata a generare una rotazione del corpo tramite la rotazione "contraria" di alcune sue parti. Dal punto di vista neurofisiologico, è caratterizzata dalla stessa atipicità di rapporto causale fra azioni muscolari e risultato finale. Anche gli eventi scatenanti appartengono ad un medesimo contesto: la caduta libera in un caso, un grave sbilanciamento nell'altro. Questo riflesso - in cui si risponde ad uno squilibrio ruotando il busto a livello del bacino e le braccia a livello delle spalle - è molto interessante anche da un punto di vista filogenetico. Una tale abilità, infatti, evoca potentemente due condizioni che furono peculiari del processo di ominazione: la postura eretta ed una vita ancora, almeno parzialmente, arboricola<sup>17</sup>. Diverse sono le "vestigie motorie" di tale processo, e dei tempi che l'hanno preceduto. Fra queste il riflesso di Moro è particolarmente complesso, in quanto coordina una serie molto diversificata di gesti in risposta ad una sensazione di caduta.

Infine il risultato dell'indagine preliminare<sup>18</sup> eseguita sottoponendo al test "dell'anello rotante" un gruppo di bambini sportivamente non specializzati, ha evidenziato la generalizzata capacità di eseguire, senza indicazioni, avvitiamenti con momento angolare nullo.

<sup>12</sup>Per esempio filmare agevolmente da una qualunque direzione, collocare sfondi speciali rispetto ai quali l'orientamento dell'esecutore resta immutato, applicare sensori ecc.. Naturalmente è anche possibile, con un'imbragatura, liberare le braccia.

<sup>13</sup>E.-J. Marey (1830-1904). Uno dei Padri della Biomeccanica. Innumerevoli le sue "cronofotografie" dei più disparati movimenti animali, compreso il "cat twist".

<sup>14</sup>Camminare, correre, saltare, capovolgarsi, rotolare, arrampicarsi, voltarsi, ecc.

<sup>15</sup>La situazione che attiva il riflesso è potenzialmente letale, quindi il movimento deve riuscire perfettamente alla prima occasione.

<sup>16</sup>Cfr. Monnier 1970, 422

<sup>17</sup>Cfr. Leakey 1995, 33

<sup>18</sup>Vedi appendice A

## 5. Conclusioni

E' molto probabile l'esistenza, nell'Uomo, di un programma motorio innato analogo a quello che consente al Gatto di raddrizzare in volo la posizione del corpo in caso di caduta.

Eredità, per noi, di un passato in cui tale abilità doveva costituire un importante vantaggio evolutivo.

Le argomentazioni a favore di questa ipotesi, considerate e documentate in questa ricerca, sono state le seguenti:

- Esiste una predisposizione ad eseguire avvitiamenti, meccanicamente analoghi al "cat twist", riscontrabile in atleti che seguono un particolare iter addestrativo.
- Tale predisposizione è presente anche in individui non specializzati sportivamente.
- La situazione del volo libero non consente l'utilizzazione degli schemi motori associati alle rotazioni - molto comuni - che si originano dall'interazione con un vincolo.
- Esiste una risposta umana neonatale alla sensazione di caduta, e tale riflesso coordina una serie complessa di atti motori.
- Esiste una risposta umana automatica alla perdita dell'equilibrio, che si basa su un principio simile a quello che governa la dinamica del "cat twist".

Infine, per quanto riguarda la tecnica esecutiva, è stato individuato e sperimentato un sistema che semplifica notevolmente lo studio delle azioni fondamentali.

### Appendice A

Il test "dell'anello rotante" è stato utilizzato per valutare la capacità di eseguire rotazioni con momento angolare nullo in un gruppo di bambini non specializzati in discipline sportive acrobatiche. I soggetti esaminati frequentano una società sportiva presso la quale svolgono una attività di educazione motoria generica di due ore settimanali. Presso tale società sono stati eseguiti i test. I test sono stati inseriti nella consueta seduta addestrativa come un qualunque esercizio ginnico. Prima di essere posti in sospensione all'anello, ai bambini è stato specificato che l'esercizio serviva a sviluppare la forza delle mani. Solo dopo aver raggiunto la sospensione tesa, veniva richiesto ai soggetti di voltarsi verso l'assistente che li aveva sollevati. I bambini sono stati valutati uno alla volta, conducendo la lezione in modo da impedire che i soggetti presenti in palestra vedessero l'esecuzione del test. I risultati sono riassunti nella Tabella

A. In particolare, sono riportate le età dei soggetti valutati, il verso di rotazione che hanno scelto per eseguire la rotazione (s=sinistra; d=destra) e la tecnica esecutiva. Di quest'ultima sono state osservate due varietà. Quella indicata con "ct" è la tecnica descritta al § 1.4; quella indicata con "m" è una tecnica mista fra la ct e quella descritta nell'esperienza n° 11.

Soggetto n°	Età (anni)	verso di rotazione	tecnica esecutiva
1	6	s	m
2	7	d	m
3	5		
4	6	d	m
5	6		
6	6		
7	6	d	m
8	5	s	m
9	6	s	m
10	6		
11	6	s	m
12	6	d	m
13	5		
14	5	d	m
15	7	s	m
16	6	s	m
17	6		
18	8	s	m
19	8	s	m
20	6	d	m
21	8		
22	9	d	m
23	10		
24	10		
25	11	s	m
26	10	s	ct
27	10		
28	10	s	m
29	11	s	m
30	9	d	ct
31	9	d	m
32	12	s	ct
33	8	d	m
34	12	d	m
35	12	s	m
36	10	s	m
37	11	d	ct
38	8	s	m
39	8		
40	8	d	m
41	11	d	m
42	12	s	m
43	8	d	m

Tabella A

### Appendice B

Gli avvitiamenti hanno un ruolo centrale in molte discipline acrobatiche e, anche, una natura intrinsecamente complessa. Il grande interesse che questa classe di movimenti ha generato e genera negli allenatori è quindi ben giustificato, e comprensibile è il fatto che sull'argomento esistano convinzioni tecniche e didattiche differenti. Indipendente-

mente da queste ultime, è utile considerare quali siano le possibilità di evoluzione che si prospettano per le figure acrobatiche con avvitamento. Finora, la ricerca è stata finalizzata all'aumento del numero di rotazioni consecutive in una medesima fase di volo. Nella ginnastica - almeno per quanto presentato in competizioni ufficiali - il triplo avvitamento costituisce l'attuale limite. E' un limite invalicabile? Certamente no, anche se gli ulteriori incrementi - triplo avvitamento e mezzo, quadruplo ecc. - appaiono altamente problematici e, forse, non altrettanto spettacolari. Quest'ultima considerazione si basa sulla seguente constatazione: già la differenza fra un doppio ed un triplo avvitamento è percepita con difficoltà dagli osservatori "non del mestiere" e, talvolta, anche da tecnici e giudici.

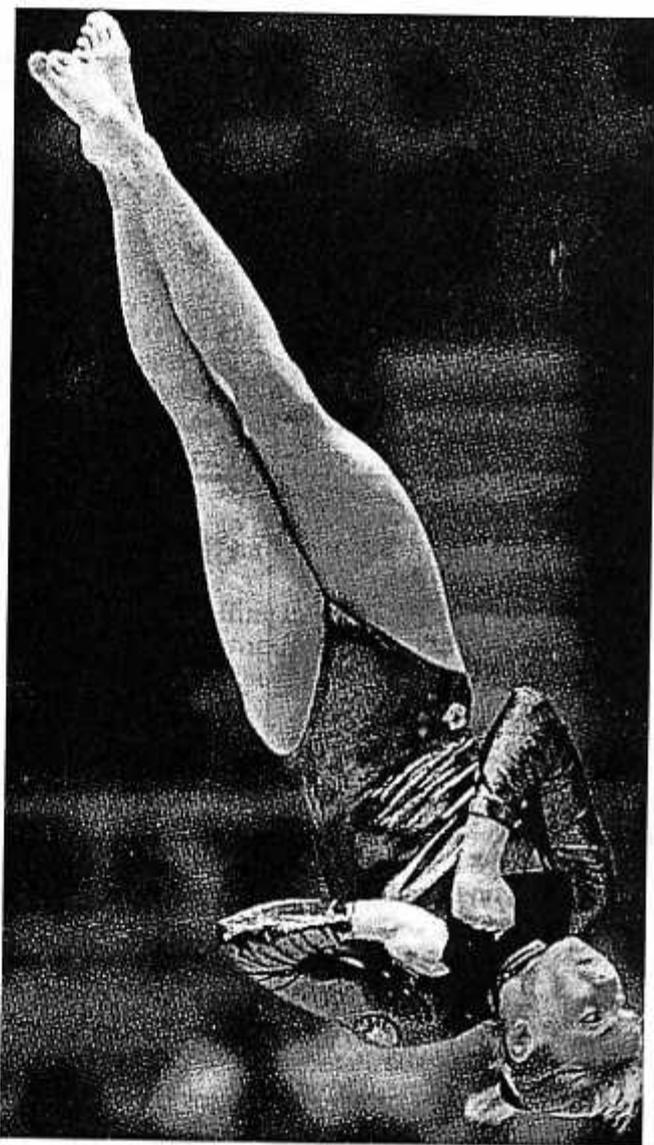
Se questo indirizzo evolutivo (aumento del numero degli avvitementi in una determinata fase di volo) è effettivamente in via di esaurimento, quali altre prospettive sussistono per l'acrobatica degli avvitementi? Una strada affascinante - la cui consistenza fisica è ampiamente documentata in quanto riportato più sopra - è quella di ricercare la realizzazione di avvitementi multipli eseguiti in versi opposti in una medesima fase di volo. Una tale classe di movimenti avrebbe un alto potenziale innovativo e spettacolare: si assisterebbe infatti, durante una fase di volo, all'esecuzione - per esempio - di un avvitamento in un senso, a una interruzione e ad un'avvitamento nell'altro senso, oppure, dopo l'interruzione, alla ripresa dell'avvitamento nel verso originario e così via. L'effetto visivo di tali combinazioni può essere constatato facilmente ripetendo le esperienze n° 9 e 10 descritte più sopra.

Tutto ciò è effettivamente realizzabile anche nella fase di volo degli elementi acrobatici? La risposta è senz'altro affermativa ed è addirittura possibile dare un preciso riferimento: se è possibile il doppio avvitamento (e lo è) con inizio nella fase di volo, allora è possibile anche il doppio avvitamento "1+1" con versi invertiti. E ciò perchè in una rotazione con momento angolare nullo, ogni singola frazione di giro è indipendente da quanto è successo immediatamente prima o da quanto avverrà immediatamente dopo. E' bene tuttavia sottolineare che l'esecuzione di tali figure richiede un'abilità del tutto nuova rispetto all'attuale bagaglio della stragrande maggioranza degli acrobati. E' indispensabile, infatti, padroneggiare gli avvitementi del tipo "cat twist" in entrambi i possibili versi e saperne coordinare la successione in tempi molto brevi. Ciò comporta un percorso didattico di cui non si ha attualmente esperienza: favorire l'apprendimento, già nelle prime fasi dell'adde-

stramento (e quindi in soggetti molto giovani), degli avvitementi liberi in entrambi i versi.

Tutte le strade nuove comportano delle incognite e occorre quindi essere estremamente prudenti nell'intraprenderle. In questo caso, le condizioni "obbligatorie" possono essere riassunte come segue:

- staff tecnico di grande esperienza e competenza
- condizioni di lavoro ideali (attrezzature per simulazioni ecc.)
- soggetti di eccezionale talento motorio che, inoltre, non presentino preferenze marcate per un particolare verso di rotazione.



## Bibliografia

Alexander, R.McN. (1992)  
The Human Machine, Natural History Museum Publications, London.

Burns D.M.- MacDonald S.G.G. (1975)  
PHYSICS for Biology and Pre-Medical Students, Addison-Wesley Publishers Limited = FISICA per studenti di Biologia e Medicina trad. it. 1983. Nicola Zanichelli S.p.A., Bologna

Donskoj D. D. - Zatziorskij V.M. (1979)  
Биомеханика: Уч-ник для ин-тов физ. культ. - М. Физкультура и спорт, Д 67  
= Donskoj D. D. - Zatziorskij V.M. Biomeccanica. trad. it. 1983. Società Stampa Sportiva, Roma

Feynman, R.P. - Leighton R.B. - Sands M. (1963)  
The Feynman Lectures on Physics, Addison-Wesley Publishing Company, California Institute of Technology = La fisica di Feynman, trad.it. 1992 Masson, Milano - Paris - Barcelona - Bonn.

Frolich, C. (1979)  
Do Springboard Divers Violate Angular Momentum Conservation?, American Journal of Physics 47 (7): 583-592.

Frolich, C. (1980)  
The Physics of Somersaulting and Twisting, Scientific American 242 (3): 113-119.

Galli, J.R. (1995)  
Angular momentum conservation and the cat twist, The Physics Teacher 33: 404-407.

Kandel, E.R. - Schwarz, J.H. - Jessel Th.M. (1991)  
Principles of Neural Science, Elsevier Publishing Company, Amsterdam - London - New York. = Principi di Neuro-

scienze trad. it. 19942 Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

Leakey, R. (1994)  
The Origin of Humankind. Basic Books, New York = Le origini dell'umanità, trad. it. 1995 Sansoni, Milano.

Marzolla, G. (s.d.)  
Gli avvistamenti nella ginnastica artistica, Federazione Ginnastica d'Italia, Roma.

Monnier, M. (1970)  
Functions of The Nervous System. II. Motor and Psychomotor Functions. Elsevier Publishing Company, Amsterdam - London - New York.

O'Brien, R. (1992)  
Diving for Gold, Leisure Press, Champaign.

Rosenbaum, D.A. (1991)  
Human Motor Control  
Academic Press Inc. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers,  
San Diego - New York - Boston - London - Sydney - Tokyo - Toronto.

## Videocassetta VHS

E' stata realizzata una videocassetta che illustra le esperienze più significative descritte nella ricerca. Inoltre, sono incluse le sequenze del cat twist - nella sua esecuzione "felina" - riprese al rallentatore e con diverse angolazioni. La videocassetta è disponibile, per la visione, presso il Centro Didattico Nazionale della FGI. Per informazioni in merito è possibile contattare direttamente l'Autore.

*La gloria di colui che tutto move  
per l'universo penetra, e risplende  
in una parte più e meno altrove.*

Dante, Par.1-3

## 1. Introduzione

Il moto è uno degli argomenti che più hanno attratto ed impegnato il pensiero dell'uomo in ogni tempo: il moto degli astri e della Terra, degli oggetti, degli animali, delle particelle atomiche e subatomiche. Ed è notevole che a tale impegno si debbano molte delle conquiste intellettuali e scientifiche che più hanno contribuito all'evoluzione culturale di Homo sapiens. Come è notevole, d'altronde, l'importanza che le modalità di movimento e le relative modificazioni hanno avuto nell'evoluzione biologica in generale, e dei Vertebrati e dell' Uomo in particolare. Da quando infatti, nel lontano paleozoico, iniziarono a differen-

sulla fisica di un classe di movimenti - le rotazioni del corpo con momento angolare nullo - il cui interesse biomeccanico e naturalistico è da considerare di un certo rilievo.

### 1.1 La legge di conservazione del momento angolare

L'interpretazione fisica del moto di un corpo è teoricamente sempre possibile, anche se, talvolta, può assumere forme estremamente complesse. Fortunatamente, per quanto verrà trattato in seguito, è possibile far riferimento ad una legge di conservazione. Le leggi di conservazione, in Fisica, hanno un significato particolare, in quanto consentono di descrivere determinati fenomeni in termini relativamente semplici. Quando in un sistema una determinata grandezza fisica si mantie-

<sup>1</sup> "L'assenza o presenza di mascelle è ... un carattere anatomico di tale importanza, da far dividere i Vertebrati in due grandi gruppi, degli Agnati e degli Gnatostomi", cfr. Padoa 1994, 31