

# Fondamenti di dinamica del soft-air

*Uno dei fondamenti del soft-air è il rispetto del limite energetico delle ASG. I nostri beneamati giocattoli devono, come tutti sanno, erogare un'energia inferiore ad 1 Joule, provenga essa dall'impulso generato dal rilascio di una molla contratta piuttosto che da una rapida espansione di gas o aria.*

*Questo breve testo ha lo scopo di fornire basilari informazioni, senza alcuna pretesa di insegnamento, riguardo ciò che avviene in termini fisici all'interno delle nostre ASG, e di illustrare il comportamento e determinate proprietà del pallino una volta uscito dalla volata.*

*Mi scuso fino d'ora con coloro che, avendo un discreta conoscenza dell'argomento, trovino questo scritto parziale o grossolano, ma lo scopo non è di formare degli scienziati del soft-air quanto piuttosto quello di porre delle semplici domande per avere delle altrettanto semplici risposte.*

*Nessuna conoscenza particolare è richiesta, solo un minimo di curiosità.*

Considereremo per semplicità una ASG elettrica dotata di ingranaggi, molla e pistone. Trascureremo gli attriti meccanici, se non quando esamineremo la fase di volo in aria del BB.

## Anzitutto, cosa vuol dire “il mio fucile fa 0.83 Joule”?

Il Joule è definito come l'unità di misura dell'energia meccanica e ha le dimensioni di una forza per uno spostamento. Approssimativamente possiamo dire che 1 Joule sia l'energia necessaria per sollevare di un metro un bicchiere d'acqua.

Dire che il fucile fa 0.83 J significa affermare che la molla, in qualità di unica fonte di energia presente all'interno del gear-box, sia in grado di imprimere al pallino una spinta tale che la sua capacità di compiere lavoro meccanico (energia cinetica) misurata alla volata sia di 0.83 Joule.

## Dove viene prodotta l'energia della molla che spinge il pallino?

La molla per poter spingere il pallino deve prima contrarsi, questa operazione è fatta dalla cremagliera, collegata a sua volta agli ingranaggi, collegati al motore elettrico, collegato ad una batteria; batteria che abbiamo avuto la cura di ricaricare sulla presa di corrente di casa nostra. Ecco da dove viene l'energia della molla e quindi del pallino.

Quando la molla è completamente contratta è lei che possiede tutta l'energia, e il BB è fermo sul pistone.

$$\frac{1}{2} kx^2 = E$$

Dove E è l'energia, x è la lunghezza di quanto la molla si è contratta e k è un coefficiente elastico, tipico di come la molla è costruita:

Quando il BB sta correndo lungo la canna è lui che possiede tutta l'energia, e la molla è a riposo.

$$\frac{1}{2} mv^2 = E$$

Dove E è l'energia, m è la massa del pallino e v la sua velocità.

Ecco come la molla e il pallino si trasmettono energia:

$$\frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} mv^2$$

## E dove va a finire questa energia?

Ogni softgunner spera che l'energia del proprio pallino vada a finire addosso ad un altro softgunner. Ipotizziamo che sia così, e dopo vedremo cosa succede, parlando di urti, ma torniamo alla molla...

## Come faccio a stabilire l'energia della mia ASG, dato che non posso aprirla ogni volta che gioco per misurare la contrazione della molla o vedere se è cambiato il suo k?

Se l'energia della molla è la stessa del pallino, determiniamo quella del pallino. Conosco la sua massa, so dividere per due, bisognerebbe conoscere la sua velocità, servirebbe un...

## A cosa serve il cronometro?

Quando si testa un "arma" si usa un cronometro. Questo apparecchio, come dice il nome stesso, misura un tempo. Il tempo che impiega il BB ad attraversare lo spazio che separa due fotocellule. Successivamente, allo stesso modo degli autovelox, viene calcolata la velocità media, che dato il brevissimo intervallo di tempo considerato, si può accettare come velocità istantanea; in formule sarebbe:

$$v_{media} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad v_{ist} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

Proprio la velocità ci serviva, adesso vediamo se sono sopra o sotto il Joule.

Tabellina d'esempio; masse orizzontali, velocità verticali, in giallo i valori over Joule

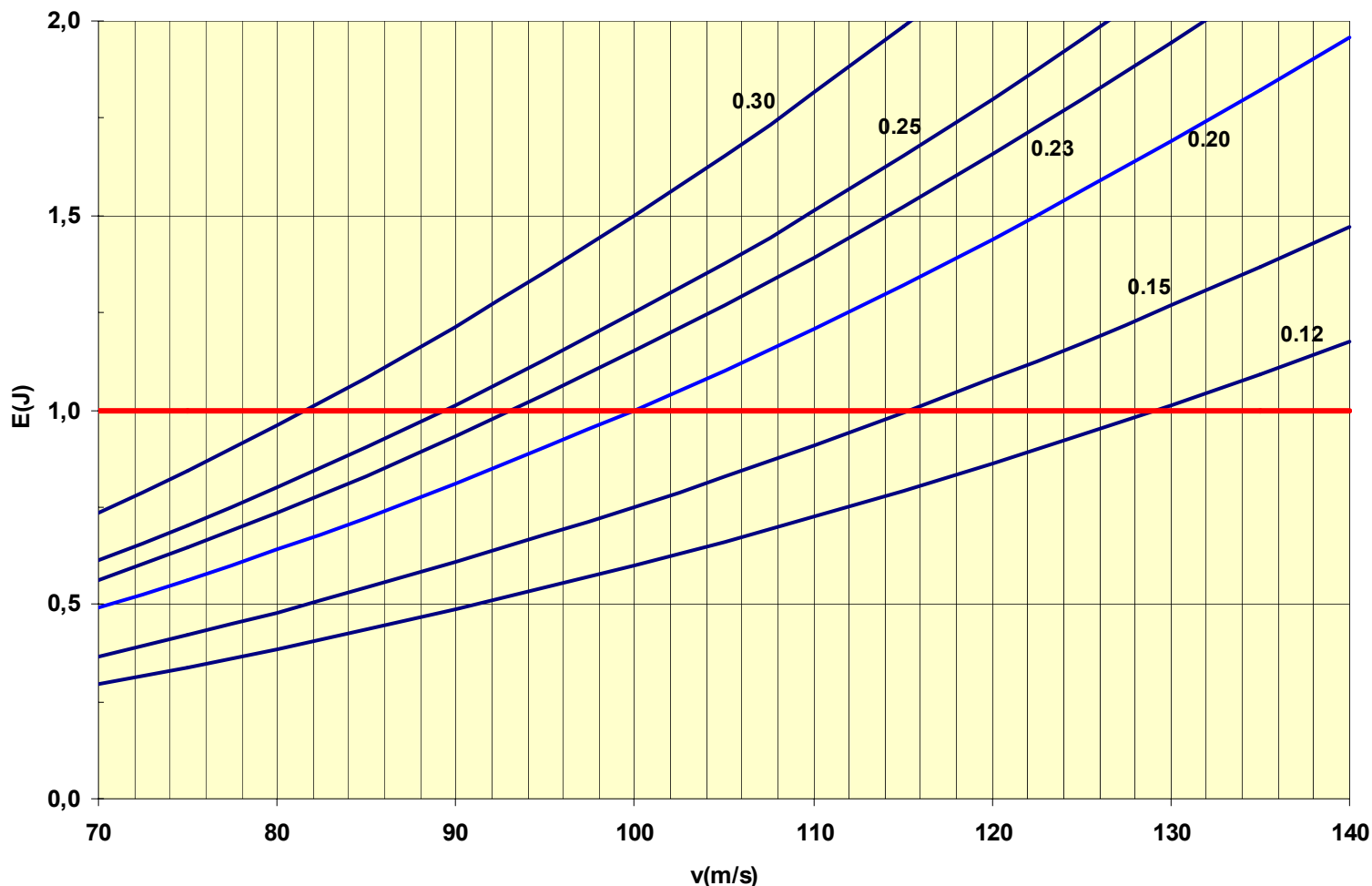
$m(g)$	0,12	0,15	0,20	0,23	0,25	0,30
$v(m/s)$						
70	0,29	0,37	0,49	0,56	0,61	0,74
75	0,34	0,42	0,56	0,65	0,70	0,84
80	0,38	0,48	0,64	0,74	0,80	0,96
85	0,43	0,54	0,72	0,83	0,90	1,08
90	0,49	0,61	0,81	0,93	1,01	1,22
95	0,54	0,68	0,90	1,04	1,13	1,35
100	0,60	0,75	1,00	1,15	1,25	1,50
105	0,66	0,83	1,10	1,27	1,38	1,65
110	0,73	0,91	1,21	1,39	1,51	1,82
115	0,79	0,99	1,32	1,52	1,65	1,98
120	0,86	1,08	1,44	1,66	1,80	2,16
125	0,94	1,17	1,56	1,80	1,95	2,34
130	1,01	1,27	1,69	1,94	2,11	2,54
135	1,09	1,37	1,82	2,10	2,28	2,73
140	1,18	1,47	1,96	2,25	2,45	2,94

$$\frac{1}{2}mv^2 = E$$

Occhio che 1 g = 0.001 Kg e se sia parla di Joule si usano i Kg

Proviamo a fare un passettino oltre

## Energia cinetica



La linea rossa è il limite di legge, 1 J.

Si vedono poi le energie dei differenti tipi di pallino (in celeste chiaro quello da 0.20g, il più diffuso) aumentare con il tipico incremento parabolico delle seconde potenze (perché la velocità è elevata alla seconda). Questo fa sì che, a parità di energia posseduta, due pallini abbiano una velocità molto diversa tra loro.

Per esempio: tra 0.20g e 0.23g (solamente 3 centesimi di grammo di differenza) la velocità deve essere di ben 6 m/s (22 km/h) maggiore per poter possedere la stessa energia di 1 Joule.

Ecco che, a parità di energia erogata dall'ASG, un BB più pesante sarà più lento in maniera molto accentuata man mano che si sale di peso. Una maggior massa quindi significa una forte lentezza e quindi una gittata ridotta, anche se come vedremo in seguito, aumenta la precisione.

Occupiamoci ora di un fondamentale aspetto dei nostri giochi, l'urto del pallino con il corpo.

Se lasciamo cadere una pallina da tennis da una certa altezza, diciamo 1 metro, questa rimbalzerà, senza però ritornare alla stessa altezza, bensì ad una più bassa, diciamo 90 cm, e così via, continuando a rimbalzare fino a fermarsi. Cosa succede? Succede che la palla ha utilizzato parte della propria energia cinetica per continuare a muoversi e parte per deformarsi, per deformare il pavimento, per riscaldare l'universo ecc... L'energia totale del sistema è invariata ma l'energia propria del movimento della palla si è in parte dissipata, si dice non si è conservata. Un urto di questo tipo, dove l'energia cinetica non si conserva è detto urto in parte anelastico. Non esistono urti perfettamente elastici, quindi che ci piaccia o no parte dell'energia cinetica viene spesa al momento dell'urto; la rimanente è propria del corpo che continuerà a muoversi. Siamo abituati a vedere i pallini che ci rimbalzano addosso quando ci colpiscono ma quello che a noi interessa ora non è l'energia cinetica che i BB conservano al momento dell'urto bensì quella che essi cedono al nostro corpo.

Data la particolare conformazione della nostra pelle e del vestiario, nonché la semplicità della nostra trattazione, considereremo l'urto BB/corpo come fortemente anelastico, dove cioè gran parte dell'energia cinetica non si conserva.

Ci serve però un termine da poter studiare, dato che l'energia non ci aiuta; vediamo quale: la meccanica classica definisce come Forza la variazione di una determinata proprietà di un corpo nel tempo, questa proprietà è la quantità di moto( $p$ ), il prodotto tra la massa e la velocità.

$$p = mv \quad F = \frac{dp}{dt}$$

Ecco che grazie alla velocità e alla massa (che è data costante) abbiamo trovato una relazione tra energia e quantità di moto:

$$E = \frac{p^2}{2m}$$

Una forza applicata per un brevissimo intervallo di tempo è detta impulso, ed è proprio questo che ci serve per far sì che un nostro avversario si dichiari colpito.

La quantità di moto è una grandezza fisica che si conserva, questo ci permette di stabilire l'entità dell'impulso di un BB.

**Prima abbiamo visto che un pallino da 0.23 g è più lento di uno da 0.20 g e che la velocità conta più della massa; allora perché se mi colpisce uno 0.23 mi fa più male?**

Il "fare male" lo abbiamo già tradotto con il termine impulso e abbiamo visto che quantità di moto maggiori determinano impulsi maggiori.

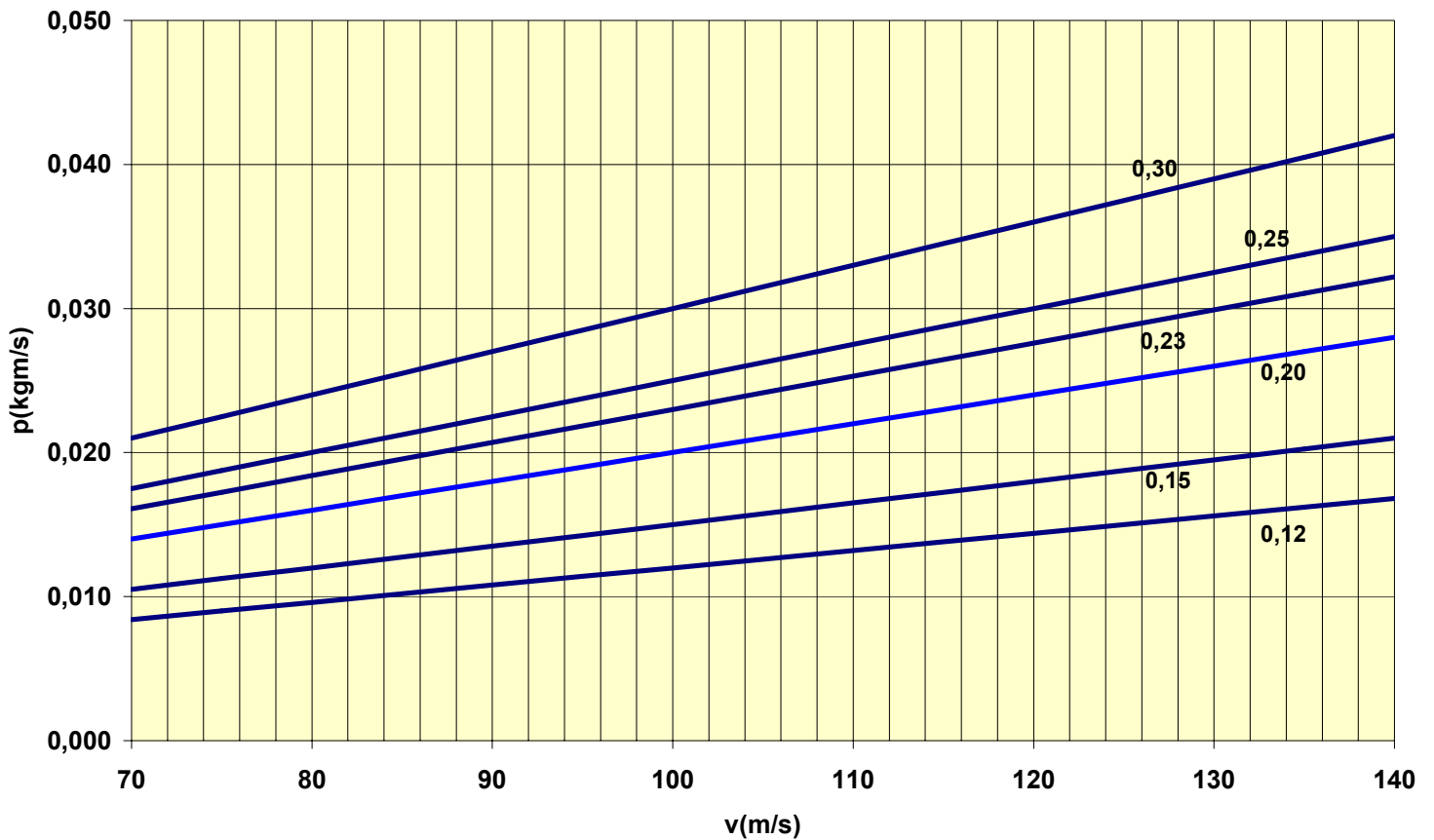
Facciamo un esempio: la tabella sotto rappresenta la quantità di moto dei pallini mentre quella di prima rappresentava l'energia cinetica. Ipotizziamo che la mia ASG eroghi 1 J.

Se uso i BB 0.20 essi avranno una velocità di 100 m/s; quelli da 0.23 invece 94 m/s.

La quantità di moto dei BB 0.23 a 94 m/s è maggiore rispetto a quella dei BB 0.20 a 100 m/s e quindi l'impulso (il "far male") sarà maggiore. Per avere lo stesso effetto i BB 0.20 dovrebbero viaggiare a circa 106 m/s, ma questo vorrebbe dire avere un'arma da 1.2 Joule circa.

Ecco che, imposto un limite energetico superiormente impossibile (fortunatamente) da oltrepassare, pallini più pesanti comporteranno impulsi più forti, chiaramente a parità di distanza.

## Quantità di moto



**Questo per quanto riguarda la forza del colpo ricevuto, ma si sa anche che pallini più pesanti sono più precisi, perché?**

Quando il pallino esce dalla volata della nostra ASG esso è soggetto a delle forze, sostanzialmente esse sono la forza peso e la forza di attrito dell'aria. Queste si oppongono al moto, e prima o poi il nostro BB lasciato libero si arresterà. La lineare regolarità della traiettoria (precisione) è dovuta alla maniera che il pallino ha di interagire con questo ambiente avverso che ne vuole a tutti i costi modificare il movimento. Misura di questa capacità è ancora una volta la quantità di moto. Più alto è questo valore, più difficilmente gli agenti esterni influiranno sulla regolarità del tiro. Ecco che, tornando all'esempio di prima, con una ASG da 1 Joule avremmo maggiore precisione con dei 0.23 piuttosto che con dei 0.20. Se vogliamo la stessa precisione usando però pallini più leggeri dovremmo per forza andare over Joule, ma questo è proibito.

**Gittata o precisione? Se cercassi un giusto equilibrio che mi permetta di ottimizzare la mia ASG cosa mi converrebbe fare?**

La risposta è immediata, basta leggere simultaneamente i due grafici. Traduciamo gittata con velocità e precisione con quantità di moto. Il risultato è: il pallino leggero vale molto di più che non una ASG elaborata. Molti modificano le loro repliche portandole dai 0.80 J circa alla soglia di 1.00 J. Il guadagno (grafico 1) è minimo: 3 forse 4 m/s mediamente. I grandi salti di qualità non si fanno mettendo le mani alla molla (energia) bensì modificando la massa del pallino. Se la mia ASG manda a 100m/s uno 0.20 allora se uso uno 0.12 esso viaggerà a circa 130 m/s (108 km/h in più!). Bella differenza, e tutto in rigoroso rispetto della legge.

Si potrebbe contestare a questo punto la minore precisione e stabilità spesa a discapito della gittata. E' vero che gli 0.12 sono meno precisi degli 0.20, ma di quanto? Vediamo al grafico 2 che la differenza ovviamente c'è ma non è così accentuata come invece la differenza al grafico 1. Perdo un poca di quantità di moto ma guadagno molta velocità. ATTENZIONE! Tutto questo non considerando però gli agenti atmosferici (vento,

umidità, attrito dell'aria...) che in realtà incidono, e di molto. Credo che una via di mezzo non possa che essere la migliore soluzione. Ogni soft-gunner conosce il proprio tipo di gioco e si regolerà di conseguenza. Comunque, un occhio alla massa del pallino non è sbagliato darlo!

**So che con l'hop-up regolato, il pallino va più lontano perché gira, ma è vero anche che l'hop-up rallenta il pallino perché ai test armi ti dicono di abbassarlo. Come fa se è più lento ad andare più lontano?**

La esauriente spiegazione di questo richiede una trattazione che sinceramente non mi sento di affrontare qui, possiamo però semplificare la questione in modo sufficientemente chiaro.

Abbiamo visto prima che gli agenti esterni (soprattutto l'aria) influenzano il moto del pallino e più veloce esso viaggia più stabile è il suo percorso. Per aumentarne ulteriormente la stabilità e quindi ridurre l'effetto delle forze che lo vorrebbero rallentare (attriti vari) siamo disposti anche a sacrificare un poca di velocità, in che modo?

Ricordiamoci che siamo alla ricerca di stabilità, cioè di rendere il più difficile possibile l'alterazione del moto da parte di forze esterne.

Perché se sto sopra una bicicletta che si muove riesco a stare dritto mentre se la bici è ferma non posso che cadere?

Introduciamo un'altra grandezza fisica; anch'essa come la quantità di moto si conserva e anch'essa conferisce stabilità ad un sistema; compare quando si ha a che fare con corpi in rotazione: il momento della quantità di moto o momento angolare.

$$M_a = \Omega I$$

Esso è definito come il prodotto tra la velocità angolare e il momento d'inerzia di un corpo.

$$\Omega = \frac{\text{giri}}{s} \quad \frac{2}{5} mR^2 = I_{\text{sfera}}$$

La prima non è altro che la velocità con la quale un corpo gira su se stesso, mentre la seconda possiamo definirla come la resistenza che un corpo omogeneo oppone alla messa in rotazione, una proprietà intrinseca che dipende dalla forma del corpo stesso. Per la sfera (i BB sono sfere di 6 mm di diametro) vale come sta sopra, dove m è la massa e R il raggio.

Più veloci girano le ruote della bici più sicuro sarò di non cadere (pensiamo alle pieghe dei motociclisti in curva che toccano quasi l'asfalto!).

Una pallottola (vera) che gira è più precisa e stabile nella sua corsa, per questo le canne sono rigate (noi abbiamo l'hop-up).

Regolare l'hop-up significa modificare la forma della membrana plastica in modo che essa urti il pallino imprimendogli un momento il quanto più possibile assiale; cioè che il BB ruoti attorno al proprio baricentro e non in maniera irregolare.

Perché meglio lavora l'hop-up, più veloce gira il pallino, più difficile sarà spostarlo dalla traiettoria, più a lungo rimarrà in fase di volo, più lontano andrà.

C'è inoltre la questione aerodinamica...

Il pallino viaggia all'interno di un fluido denominato aria; questo fluido possiede una propria viscosità (una proprietà tipica che genera l'attrito). E' la viscosità dell'aria che lo rallenta nel suo moto e più è alta la velocità più intenso è questo rallentamento. La forza di attrito viscoso per alte velocità (e le nostre sono molto alte) è data dalla legge del "Drag Aerodinamico":

$$F_{DA} = \frac{1}{2} C_x A \rho v^2$$

dove A è la sezione del corpo sottoposto ad attrito (per noi è l'area del cerchio di raggio 3mm),  $\rho$  è la densità del fluido, v la velocità relativa tra corpo e fluido e Cx è il coefficiente di penetrazione aerodinamica (tipico della forma esteriore del corpo); più basso è meglio è. Controllate se volete il Cx della vostra auto su Quattroruote, dalla formula del Drag potreste stabilire il rendimento del vostro motore.

Si vede quindi come la forza di resistenza al moto proveniente dall'aria cresca in maniera molto rapida all'incrementare della velocità.

Vediamo ora però come l'aria possa anche venire a nostro vantaggio. Torniamo al momento impresso al pallino dall'hop-up...

... mentre il pallino gira, grazie alla viscosità, anche l'aria che gli sta accanto gira con esso. Il fatto che oltre a girare si sposti in linea retta, fa sì che l'aria possieda velocità diverse a seconda che si trovi sopra o sotto il BB che sta girando.

Dalla famosa legge di Bernoulli sappiamo che:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{costante}$$

dove p è la pressione del fluido,  $\rho$  come prima la sua densità e v la solita velocità. Questo comporta che in un fluido in movimento al crescere della velocità la pressione diminuisca e viceversa. Bingo! L'aria sotto il BB è più lenta rispetto all'aria che gli viaggia sopra, e quindi la pressione è maggiore. Questo comporta l'azione di una forza che sostiene il moto lungo la direzione della depressione formatasi (chiaro che i termini "sopra" e "sotto" sono riferiti al pallino e non al suolo). Il "taglio" impresso alla pallina dal tennista oppure al pallone da calcio dal giocatore brasiliano che tira le punizioni sfruttano il medesimo principio.

Mica semplice sto hop-up!

**Un'ultima cosa. Succede che quando c'è brutto tempo, oppure si va a giocare in collina o in montagna le ASG risultino più potenti, a volte anche over Joule, come mai?**

E' un inconveniente di avere l'arma elaborata che rasenta la soglia dei 0.99 J.

In realtà se andiamo in montagna non è che la molla si modifichi ed eroghi un'energia maggiore. Il problema è che noi al test armi non misuriamo l'energia della molla, se vi ricordate noi non conosciamo il suo x o il suo k. Noi misuriamo la velocità del pallino, che risulta essere maggiore. Questo succede sempre a causa delle influenze esterne dell'aria. Salendo di altitudine, come ben si sa, l'aria si fa via via più rarefatta e la pressione diminuisce. Ecco che minore sarà la resistenza opposta al moto del pallino, che risulterà inevitabilmente più veloce del solito. Avere a che fare con delle masse molto piccole (qualche decimo di grammo) comporta un indice di condizionamento esterno molto alto, così che piccole variazioni climatiche comportino evidenti cambiamenti nelle prestazioni della nostra ASG.

**Carlo "Sfera"**  
**Soft Air Team "Katana"**