

UNITA' DI MISURA E CRITERI DI CALCOLO

Introduzione ai calcoli di Fisica che interessano il tiro con l'arco

di Mario Attilio Ostidich

(Testo pubblicato in Outlab in settembre 2010)

Il tiro al bersaglio e la caccia con l'arco, nella versione moderna, sono sport che vengono dagli Stati Uniti d'America. Dall'America, noi arcieri europei abbiamo importato tutto: archi, frecce, accessori, quasi tutta la terminologia e il vezzo d'usare le unità di misura anglosassoni che ci complicano la vita.

Il problema non è l'uso delle **libbre (lb)** per acquistare un arco, o dei **grani (gr)** per le punte delle frecce. Anche i televisori sono venduti con misure in **pollici (in)**. Si tratta di convenzioni ragionevoli, se restano nell'ambito commerciale. Al contrario, non va bene usare queste vecchie unità di misura per fare calcoli che anche negli USA si fanno sempre più spesso con le unità del **Sistema Internazionale (SI)**, essendo rimasti gli ultimi a non applicare una convenzione riconosciuta da tutti i paesi del mondo. In Italia l'uso delle unità di misura SI nei documenti ufficiali è obbligatorio per legge dal 1982.

Per fare i calcoli di **Statica** e **Dinamica** che sono utili per un arciere, le misure di cui abbiamo bisogno sono quelle qui elencate, con l'indicazione dei legami dimensionali:

lunghezza	metri	m	
massa, quantità di materia	chilogrammi	kg	
tempo	secondi	s	
forza	newton	N	= $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
energia, lavoro	joule	J	= $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

E' convenuto che le misure siano scritte in numeri decimali, preferendo i multipli su base 1000. Per esempio:

$1/10^6$	micro	µg = microgrammo
$1/10^3$	milli	mm = millimetro
10^3	chilo	km = chilometro
10^6	mega	MN = meganewton
10^9	giga	GJ = gigajoule

L'unità di misura deve essere scritta dopo il valore numerico, senza aggiunta di punti d'abbreviazione, rispettando maiuscole e minuscole. Scrivere «100 kg» va bene. La scritta «Kg.100» contiene tre errori.

Il primo vantaggio di queste unità di misura è quello di predisporre conversioni semplici. Infatti, scrivere formule tenendo conto che un piede equivale a 12 pollici, e che ci vogliono 7000 grani per fare una libbra, necessita l'uso di fattori di conversione che confondono le idee e complicano i calcoli.

Il secondo vantaggio, meno ovvio ma molto importante, è quello di distinguere il **peso** inteso come **massa**, dal **peso** inteso come **forza**. Non è solo una formalità utile per intenderci. Sulla corretta distinzione tra peso e massa trova fondamento ogni possibile ragionamento di dinamica nel quale un arciere può essere interessato.

I TRE PRINCIPI DELLA DINAMICA

1. Un oggetto dotato di massa resta nel suo stato di quiete, o continua un movimento a velocità e direzione costante, finché non interviene una forza esterna.
2. Ogni variazione di velocità, accelerazione o rallentamento, è proporzionale alla forza che lo ha causato e avviene nella direzione con cui la forza ha agito.
3. Ad ogni forza che agisce corrisponde una reazione uguale e contraria.

Un chilogrammo è una quantità di materia che è sempre la stessa, ovunque essa sia. Nello spazio manterrebbe il suo stato di quiete o la sua velocità costante, ma non qui sulla Terra, dove sta appoggiato da qualche parte, o cade con una velocità che tende ad aumentare in misura costante per ogni secondo che passa. La forza esterna che interviene è quella gravitazionale che a livello del mare provoca un'**accelerazione di gravità** uguale a $9,81\text{m/s}^2$. Se fossimo sulla Luna, l'accelerazione sarebbe $1,62\text{ m/s}^2$ e la forza necessaria per sostenere un 1 kg sarebbe ridotta a un sesto.

Evidentemente il peso-massa e il peso-forza sono correlati, ma non sono la stessa cosa. Il secondo principio della dinamica lo spiega con questa formula:

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

$$1 \text{ newton} = 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

Quindi, sulla Terra a livello del mare, il peso-forza di un chilogrammo è 9,81 newton.

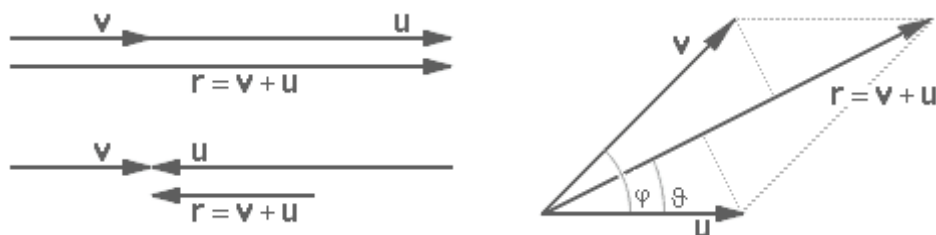
Per capire la differenza tra massa e forza, occorre anche sapere che la prima è una **grandezza scalare**, definita solo dalla sua misura, mentre la seconda è una **grandezza vettoriale**, definita dalla sua misura – detta **intensità** – ma anche dalla direzione e verso con cui agisce.

FORZE E VETTORI

La somma di due masse è semplicemente costituita dalla loro addizione, e questo vale anche per altre grandezze scalari, come il tempo, l'energia:

$$1 \text{ kg} + 4 \text{ kg} = 5 \text{ kg}.$$

La somma di due **vettori** – due forze, due velocità o due spostamenti – dà invece un risultato che deve essere calcolato seguendo principi geometrici:

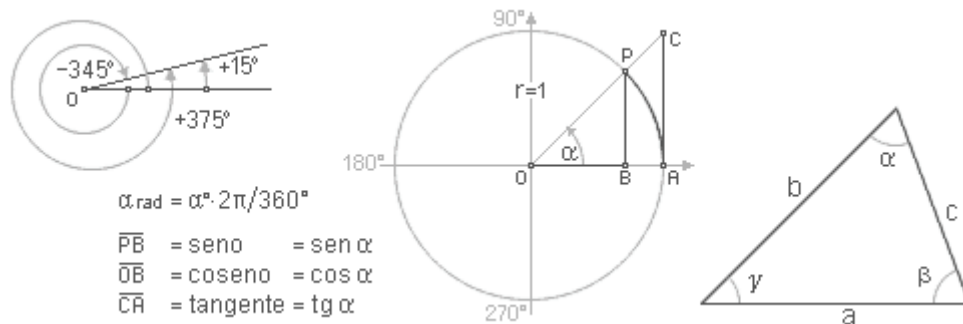


Se i vettori **componenti** v e u agiscono con la stessa direzione e lo stesso verso, il vettore **risultante** r ha un'intensità che è la somma delle due intensità. Se agiscono con verso opposto la risultante ha un'intensità che è la differenza delle due intensità. Ma questi sono due casi semplici. Nei casi più comuni i vettori componenti agiscono in direzioni diverse, obbligando a fare calcoli trigonometrici per definire l'angolo θ della risultante e l'intensità rilevata come somma delle proiezioni che i due vettori hanno sulla nuova direzione:

$$r = (v^2 + u^2 + 2 v \cdot u \cdot \cos \varphi)^{1/2} \quad \theta = \arctg [v \cdot \sin \varphi / (u + v \cdot \cos \varphi)]$$

NOTAZIONI MATEMATICHE

Per fare calcoli vettoriali è quindi necessario avere familiarità con la **trigonometria**, ma questa non è una competenza che si apprende rapidamente. Per ora, possono bastare alcuni accenni che siano utili per intuire il significato delle formule. Cominciamo dalla convenzioni:



- gli angoli si misurano in senso antiorario e possono essere maggiori dell'angolo giro per cui $+15^{\circ}$, -345° e $+375^{\circ}$ sono misure equivalenti
- per semplicità diventa utile esprimere la misura degli angoli in **radianti (rad)**, essendo $1 \text{ rad} = 360^{\circ} / 2\pi = 57,3^{\circ}$ la misura di un arco lungo quanto il raggio
- le funzioni – **seno**, **coseno** e **tangente** – tracciate su un cerchio di raggio unitario, definiscono i rapporti proporzionali esistenti tra gli elementi di un triangolo
- le funzioni trigonometriche di un angolo α sono indicate con **sen α** , **cos α** , **tg α** , le funzioni inverse che danno la misura di α sono **arcsen**, **arccos**, **arctg**.

Seno, coseno e raggio unitario compongono un triangolo rettangolo dal quale possiamo ricavare le prime relazioni fondamentali

$$\begin{aligned}\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha &= 1 \\ \sin \alpha / \cos \alpha &= \tan \alpha\end{aligned}$$

da cui derivano i teoremi che definiscono il rapporto tra gli **elementi di un triangolo**:

$$\begin{aligned}a / \sin \alpha &= b / \sin \beta = c / \sin \gamma \\ a^2 &= b^2 + c^2 - 2 b \cdot c \cdot \cos \alpha\end{aligned}$$

Qualche ulteriore chiarimento potrebbe essere utile a proposito della **notazione** lineare delle formule che l'uso dei computer ha favorito in sostituzione dei vecchi criteri grafici in cui abbondavano grandi segni di radice e lunghe linee di frazione.

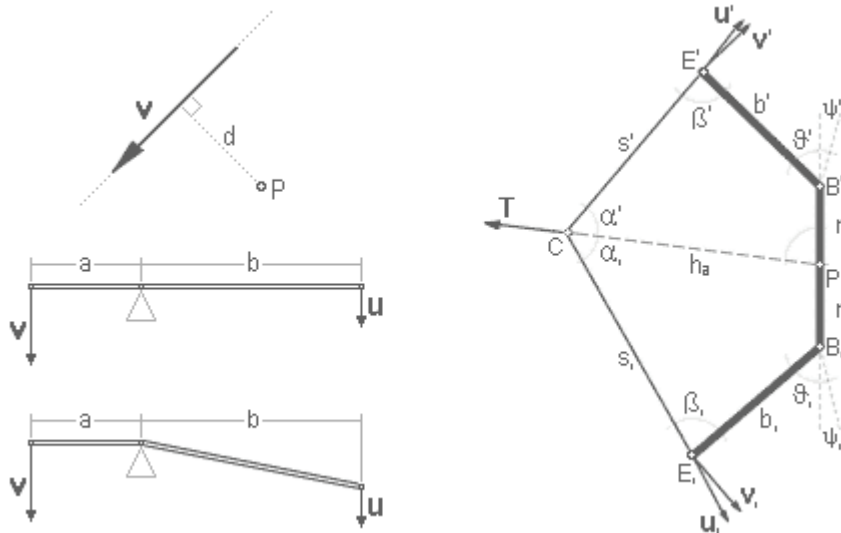
	<u>notazione lineare</u>	<u>altre notazioni</u>
somma e sottrazione	$a + b$ $a - b$	
moltiplicazione e divisione	$a \cdot b$ a / b	$a \times b$ $a * b$ $a : b$
operazioni multiple	$a / (a \cdot b)$ $a \cdot (b + c)$	$a / b / c$ $a b + a c$
elevazione a potenza	a^2 a^{-2} $a^{1/3}$	$a ^ 2$ $1 / a^2$ $\sqrt[3]{a}$

Il punto, usato come notazione della moltiplicazione, può essere tralasciato nei casi in cui è ovvio.

Per quanto riguarda l'uso corretto delle formule occorre porre sempre molta attenzione ad usare parametri che abbiano unità di misura coerenti. Per esempio: se voglio calcolare una velocità in m/s devo badare che lo spazio sia calcolato in metri e il tempo in secondi, poi posso poi convertire quella misura in km/h, tenendo conto che 1 m/s equivale a 3600 m/h e quindi 3,6 km/h.

ANCORA SUI VETTORI

Ritornando ai vettori, dobbiamo dire che quelli di cui abbiamo parlato sono vettori liberi che possiamo considerare complanari. Ma vi sono casi in cui i vettori agiscono su piani diversi o sono applicati a corpi dotati di un proprio vincolo, generando rotazioni di entità proporzionata alla intensità del vettore e al braccio con cui agisce.



La misura dell'azione svolta dal vettore $\mathbf{v}$ che ha braccio $\mathbf{d}$ rispetto all'asse di rotazione indicata dal punto $\mathbf{P}$, è detto **momento** e ha valore:

$$\mathbf{M} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{d}$$

Per capire il significato di questa misura basta pensare alla leva, o ad un bilanciere che resta in equilibrio se è soggetto a due momenti equivalenti e contrapposti:

$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{a} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{b}$$

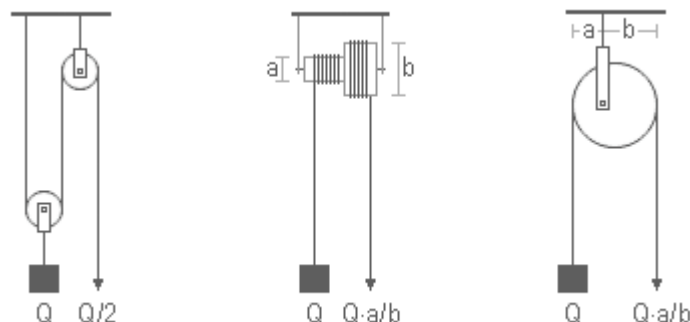
E' da notare che i due bilancieri rappresentati nella figura sono equivalenti, perché la differenza nella forma non conta se resta costante il braccio $\mathbf{b}$ con cui agisce $\mathbf{u}$.

Le forze che agiscono su una struttura possono essere numerose. E' il caso di un arco che resta in equilibrio se il sistema delle forze è equamente ripartito: la trazione $\mathbf{T}$ che necessariamente agisce in direzione del vincolo rappresentato dal punto di perno $\mathbf{P}$, si ripartisce equamente in due componenti $\mathbf{u}$, e $\mathbf{u}'$ lungo le direzioni della corda che a loro volta sviluppano due momenti costituiti dalle componenti ortogonali ai flettenti $\mathbf{b}$, e $\mathbf{b}'$ per cui:

$$\mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{b}_1 \approx \mathbf{v}' \cdot \mathbf{b}'$$

essendo diverse quel tanto che occorre per compensare le asimmetrie del sistema.

Un sistema di forze che è applicato agli archi compound è quello della pulegge che sono in grado di demoltiplicare la forza necessaria per sollevare un carico.



Nella figura sono presentati tre situazioni diverse. Nel primo caso la forza necessaria per sollevare il carico è ridotta a metà, per il fatto che il carico è sostenuto da due tratti della fune, e questa deve essere tirata per una lunghezza che è il doppio d'altezza a cui è stato sollevato il carico.

Il secondo caso introduce nel paranco il concetto della leva, riducendo il carico in rapporto ai diametri dei due tamburi su cui sono avvolte le funi.

Il terzo caso mostra una carrucola eccentrica, con un rapporto di carico che cambia variando la sua posizione. Questo è il caso delle camme degli archi compound.

Per fare un esempio di calcolo possiamo considerare il primo paranco del disegno e ipotizzare che il carico **Q** abbia una massa di 50 chilogrammi. Per sollevare quel carico, nelle condizioni di gravitazione alle quali siamo abituati, la forza misurata in **newton (N)** è:

$$\begin{aligned} Q &= 50 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 490 \text{ N} \\ Q/2 &= 490 \text{ J} / 2 = 245 \text{ N} \end{aligned}$$

Finora abbiamo parlato di forze che agiscono lungo una retta, ma esistono anche forze che agiscono su una superficie, esercitando una **pressione** uniforme. In questo caso, l'unità di misura è il **pascal (Pa)** equivalente a 1 newton per metro quadrato. Questa unità è coerente con il SI, ma essendo un'entità troppo piccola è perlopiù espressa dal multiplo **megapascal (MPa)**, cioè un milione di pascal, all'incirca dieci volte la pressione atmosferica sulla Terra.

LAVORO E ENERGIA

La leva e il paranco sono **macchine semplici**, capaci di modificare l'intensità o la direzione di una forza per ottenere un vantaggio pratico. Anche l'arco è una macchina semplice, ma concettualmente più evoluta, perché è in grado di accumulare il **lavoro** prodotto dalla forza dell'uomo e restituirlo sotto forma di **energia** cinetica della freccia, per colpire con precisione a distanza. Lavoro e energia sono due manifestazioni di una stessa grandezza, misurabile come prodotto scalare di una forza per uno spostamento. Infatti, sollevare qualcosa e deporlo più in alto è tipicamente un lavoro che richiede energia. L'unità di misura SI è **joule (J)**, che in Italia pronunciamo | *djaul* |, anche se il resto del mondo dice più giustamente | *dju:l* |.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m}$$

La **potenza** è invece la quantità di lavoro eseguito nell'unità di tempo. La sua unità di misura SI è il **watt (W)**, equivalente al lavoro di 1 joule per 1 secondo. E' una grandezza utile per classificare un motore o una lampadina, ma nei calcoli di balistica è una grandezza usata molto marginalmente.

Queste definizioni prendono evidenza se immaginiamo di sollevare un carico direttamente o per mezzo di una leva, che riduce lo sforzo nella misura con cui aumenta lo spostamento. La quantità del lavoro svolto è la stessa.

Da un punto di vista più ampio la macchina è un congegno in grado di trasformare le forme con cui un'energia si manifesta: **energia chimica** per combustione, **energia termica** da temperatura elevata, **energia potenziale** disponibile per caduta, **energia cinetica** di un oggetto in movimento. Queste trasformazioni sono soggette a perdite per inerzie di vario tipo, valutabili complessivamente in termini di **rendimento**:

$$\frac{\text{lavoro in uscita}}{\text{lavoro in entrata}} = \frac{\text{energia ottenuta}}{\text{energia fornita}}$$

Con rendimento 100% una macchina potrebbe autoalimentarsi senza fermarsi mai. Immaginiamo che questo avvenga con un arco che scagli una freccia perfettamente verso l'alto, fino a quando questa si ferma, per tornare poi indietro, recuperando la velocità e l'energia iniziale, tanto da ricadere nell'arco, ricaricarlo ed essere ancora scoccata ripetendo il ciclo all'infinito. In realtà sappiamo che il rendimento di un arco è 70~80% e la resistenza dell'aria farebbe perdere il 20% della velocità. Ma con rendimento 100% l'energia del sistema arco-freccia resterebbe costante.

Supponendo che si tratti di una freccia di massa **m**, scoccata da un arco semplice, con una forza di trazione che cresce uniformemente, dall'altezza della corda **h_o** all'allungo **h_a** fino al carico **T** possiamo calcolare l'energia accumulata **W**.

$$W = (h_a - h_o) \cdot T / 2$$

Poiché questa energia sarebbe uguale all'energia potenziale della freccia al vertice della sua corsa, potremmo calcolare l'altezza **H** che raggiungerebbe tenendo conto dell'accelerazione di gravità **g** = 9.81 m/s²

$$W = m \cdot g \cdot H$$

$$H = W / (m \cdot g) = (h_a - h_o) \cdot T / (2 m \cdot g)$$

Con lo stesso criterio possiamo calcolare la velocità **V** della freccia che corrisponde ad una energia cinetica di uguale valore.

$$W = \frac{1}{2} m \cdot V^2$$

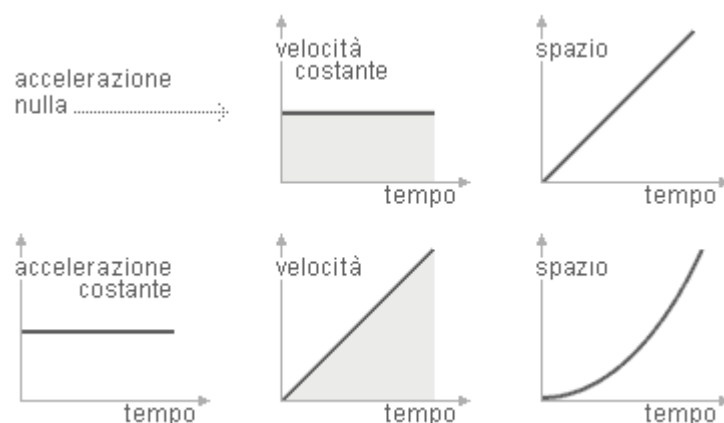
$$V = (2 W / m)^{1/2} = (2 g \cdot H)^{1/2}$$

Ma per capire questi ultimi calcoli è necessario avere a portata di mano le formule di cinematica che studiano il moto uniformemente accelerato.

CINEMATICA: VELOCITA' E ACCELERAZIONE

Il moto è perlopiù variabile nella direzione e nella velocità. La condizione più semplice è quella del moto rettilineo uniforme che coinvolge due parametri variabili: **spazio e tempo**. Se anche la **velocità** è variabile, occorre tener conto della **accelerazione**, misurata come differenza di velocità nell'unità di tempo. Il rallentamento è una accelerazione negativa.

Uno schema grafico della variazione dei parametri aiuta a comprendere le formule che seguono.



L'area evidenziata nei due diagrammi velocità/tempo rappresenta lo spazio che progressivamente viene percorso. In caso di velocità costante lo spazio aumenta in modo uniforme. In caso di accelerazione costante, la velocità cresce in modo uniforme e lo spazio percorso aumenta con progressione parabolica.

Se trascuriamo il rallentamento dovuto alla resistenza dell'aria, la caduta di un oggetto è un tipico caso di moto uniformemente accelerato con velocità iniziale uguale a zero. Indicando con **V** la velocità terminale, **g** l'accelerazione di gravità, **t** il tempo di caduta, **H** l'altezza della caduta, **m** la massa, **W** l'energia cinetica, valgono queste equazioni:

$$V = g \cdot t \quad H = \frac{1}{2} V \cdot t = \frac{1}{2} g \cdot t^2 = \frac{1}{2} V^2 / g \quad W = m \cdot g \cdot H = \frac{1}{2} m \cdot V^2$$

RESISTENZA DEI MATERIALI

Ogni materiale sottoposto ad uno sforzo reagisce deformandosi. Per sollecitazioni ridotte, la **deformazione** è **elastica**, nel senso che il materiale recupera forma e dimensione non appena la sollecitazione è rimossa. Tuttavia, vi è un limite oltre il quale la deformazione inizia ad essere **plastica**, nel senso che il materiale resta deformato stabilmente. Poi può anche perdere coesione e rompersi, ma la deformazione plastica è già un guasto che mette fuori servizio una struttura. Nel caso di strutture portanti occorre tenere conto anche del fatto che il peso stesso del materiale partecipa alla sua sollecitazione.

Per confrontare e descrivere la resistenza dei diversi materiali si deve fare riferimento alle loro principali proprietà tecniche:

- la **densità**, o peso specifico, come si diceva una volta
- il **carico limite**, oltre il quale le deformazioni sono permanenti
- il **modulo elastico**, che è il rapporto tra carico e deformazione elastica

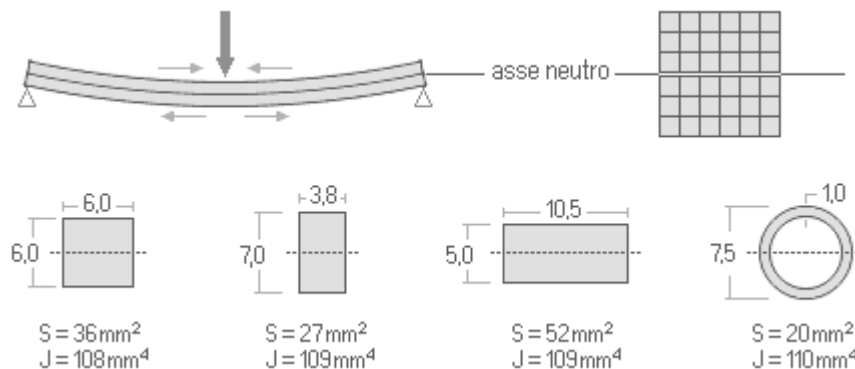
Per avere un'idea delle proprietà dei materiali usati in arcieria può essere utile un confronto con le caratteristiche di un acciaio comune da carpenteria.

proprietà simbolo; unità di misura	densità ρ (kg/m³)	carico limite R_p (MPa)	modulo elastico E (GPa)
acciaio	7800~7900	200~250	200~220
lega d'alluminio per frecce	2700~2800	300~450	72~73
abete per frecce	400~500	30~50	10~11
frassino per archi	700~800	40~60	12~14
fibra di carbonio + resina	1500~1800	500~1000	200~300

Per valutare le misure espresse in MPa e GPa è bene ricordare che un **megapascal (MPa)** equivale a un newton per millimetro quadrato, all'incirca $0,1 \text{ kg/mm}^2$, e un **gigapascal (GPa)** equivale a mille megapascal.

La variabilità dei valori riportati nella tabella ha ragioni diverse. Per esempio: l'umidità e l'orientamento delle fibre del legno, il tipo di lega metallica, il rapporto fibre/resina del carbonio, le componenti di compressione/trazione della sollecitazione. Ma per materiali e condizioni note è possibile fare calcoli di grande precisione.

In alcuni casi, come la sollecitazione dei flettenti di un arco, il calcolo richiede modelli matematici e l'uso di un computer. In altri, come la flessione in condizioni standard, per valutare lo **spine** di una freccia, il calcolo è sufficientemente semplice. Però non basta conoscere il modulo elastico del materiale, occorre conoscere esattamente anche le dimensioni che determinano la rigidità espressa dalla forma.



Se un'asta viene sottoposta a **flessione**, gli strati superiori sono sollecitati a compressione mentre quelli inferiori sono messi in tensione. Ogni elemento della sezione contribuisce alla rigidità dell'asta in proporzione al quadrato della sua distanza dall'**asse neutro** dove la sollecitazione è nulla. L'integrale di queste reazioni dà la misura della rigidità della sezione. Il suo nome è **momento d'inerzia** assiale ed è generalmente indicato con il simbolo J_x o più semplicemente **J**.

Se per esempio consideriamo una sezione quadra di 6x6 millimetri, possiamo calcolare il momento d'inerzia come sommatoria di 36 elementi di sezione da 1 mm^2 :

$$J = 12 \cdot 2,5 + 12 \cdot 1,5 + 12 \cdot 0,5 = 105 \text{ mm}^4$$

Questo è un calcolo approssimato che diventa più preciso se aumentiamo il numero degli elementi in cui la sezione è frazionata. Ma su un prontuario di meccanica possiamo trovare formule che semplificano i calcoli, almeno per le sezioni di forma geometrica più ricorrente:

- barra rettangolare (b=base; a=altezza) $J = (b \cdot a^3) / 12$
- tubo tondo ($\varnothing_e$ =diam.esterno; $\varnothing_i$ =diam.interno) $J = \pi \cdot (\varnothing_e^4 - \varnothing_i^4) / 64$

Con queste formule possiamo calcolare che tutte le sezioni della figura, per l'asse neutro indicato, hanno momenti d'inerzia molto simili pur avendo aree **S** e quindi masse lineari diverse. Il risultato migliore è quello del tubo tondo, che pesa quasi la metà della barra quadra e ha momento d'inerzia costante in tutte le posizioni dell'asse neutro.

Un'asta di sezione rettangolare flette facilmente se è sollecitata in posizione orizzontale. In posizione verticale risulta invece molto rigida, ma è instabile perché può cedere di schianto, ruotandosi sul fianco.

La flessione può avvenire con vicoli e appoggi diversi, e diverse distribuzioni del carico. Le modalità standard per la misura dello spine comporta due appoggi non vincolati, messi alla distanza di 28" (711 mm), e un carico di 1,94 lb (8,6 N) posto al centro dell'asta.

Da un prontuario possiamo sapere che la formula da applicare per questo tipo di flessione è:

$$f = p \cdot L^3 / (48 \cdot E \cdot J)$$

Se prendiamo in considerazione un'asta d'alluminio, con misura nominale 2114, possiamo sapere dalle tabelle EASTON che i diametri esterno e interno misurano 8,33 e 7,62 millimetri. Questo ci permette di calcolare che il suo momento d'inerzia J è $71,1 \text{ mm}^4$, cioè $71,1/10^{12} \text{ m}^4$

La tabella dice anche che il materiale dell'asta è una lega alluminio-magnesio-rame, il cui modulo elastico E è 73 GPa, cioè $73 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$. I parametri L e p sono quelli standard: 711 mm di distanza tra i punti d'appoggio e 8,6 N di carico. Per un calcolo più preciso dovremmo tenere conto che il peso stesso dell'asta partecipa al carico e quindi p diventa 8,8 N equivalenti a 2 libbre.

Con questi dati la formula ci permette di calcolare che la flessione è di 12,7 mm, cioè esattamente i 500/1000 di pollice di spine garantito dalla tabella EASTON.

CONCLUSIONE

Tutto questo percorso appare lungo e faticoso per chi lo fa la prima volta, ma è gratificante come la fatica di salire su un vetta dalla quale si ha una più ampia visione delle cose. Questa è l'esperienza che occorre per fare ragionamenti propri, senza dipendere troppo dalle opinioni altrui, non sempre corrette e spesso applicate a sproposito.

Una formula è una macchina che produce risposte coerenti con i dati immessi. Un insieme di **formule** costituisce un **modello matematico** in grado di interpretare fenomeni complessi della realtà. Ma la validità di questi strumenti dipende dall'uso che ne viene fatto.

Sempre più spesso si usano congegni computerizzati che non solo fanno i calcoli, ma provvedono anche a rilevare i dati. In troppi casi chi li utilizza non sa nulla di come essi funzionano, ottenendo informazioni che non è in grado di interpretare.

Si perde così l'utilità di procedure il cui pregio maggiore non sta nel fatto di produrre risultati, ma nella metodica interpretazione delle cause che operano in quel contesto. Senza una consapevole attenzione è facile che questi strumenti siano applicati in situazioni che implicano parametri e modalità che non erano stati previsti.



CONVERSIONI

Misure di Lunghezza

1 metro (m)	= 3,2808 piedi (ft)	= 39,3701 pollici (in)
1 iarda (yd)	= 0,9144 metri (m)	= 3 piedi (ft)
1 piede (ft)	= 0,3048 metri (m)	= 12 pollici (in)
1 pollice (in)	= 25,4000 millimetri (mm)	

Misure di Massa

1 kilogrammo (kg)	= 2,2046 libbre (lb)	= 35,2740 once (oz)
1 grammo (g)	= 15,4324 grani (gr)	
1 libbra (lb)	= 0,4536 kilogrammi (kg)	= 16 once (oz)
1 grano (gr)	= 0,0648 grammi (g)	

Misure di Forza

1 newton (N)	= 0,2247 libbre (lb)	= 0,1019 kg forza
1 libbra (lb)	= 4,4497 newton (N)	

Misure di Velocità

1 metro al secondo (m/s)	= 3,6 chilometri all'ora (km/h)
1 metro al secondo (m/s)	= 3,2808 piedi al secondo (fps)
1 piede al secondo (fps)	= 0,3048 metri al secondo (m/s)

Misure di Energia

1 joule (J)	= 0,7373 libbre per piede (ft.lb)
1 joule (J)	= 0,1019 kilogrammetri (kgm)
1 libbra per piede (ft.lbs)	= 1,3563 joule (J)

Conversioni calcolate per un valore dell'accelerazione di gravità uguale a $9,81 \text{ m/s}^2$



Vedere altri documenti da: www.outlab.it