

ARCO RIFLESSO: OVVERO ARCO MONGOLO

Un tipo di arco attorno al quale, da tempo, si leggono lodi e qualche assurdità

di Mario A. e Riccardo Ostidich

(Testo pubblicato in OUTLAB nell'aprile 2007)

Chiamarlo **arco mongolo** è un giusto tributo per il popolo che, forse non l'ha inventato, ma più di ogni altro ne ha fatto uso. Un popolo che tuttora lo utilizza orgogliosamente in competizioni sportive che sono occasione di festa nazionale. Il nome tecnico più accettato, invece, è **arco riflesso**, anche se questa denominazione non è esente da critiche, per il fatto di comportare un aggettivo che per forma e significato è troppo simile a "ricurvo". Forse, sarebbe meglio chiamarlo 'retroflesso'.

In ogni caso, non è una stranezza limitata a paesi lontani, ma è stato in assoluto il più temibile degli archi da battaglia, utilizzato in buona parte dell'Asia, presente anche nell'Europa dell'est e nei paesi del Mediterraneo orientale. Sono di tipo riflesso gli archi conservati nella collezione d'armi del MUSEO CORRER di Venezia.

La straordinaria innovazione di quest'arco, introdotta da almeno millecinquecento anni, è costituita dalle leve rigide – dette anche **spalle** – poste all'estremità dei flettenti. L'altra particolarità che lo contraddistingue – l'essere composto di legno, nerbo e corno tenuti insieme da fasciature e colla di pesce – era già presente nei più antichi archi ricurvi, come quelli rinvenuti dagli archeologi dell'antico Egitto, o riprodotti sui bassorilievi assiri.



vedere scheda: www.outlab.it/sk0104.htm

Esistono pubblicazioni in cui si suggerisce che il valore di questo arco stia nell'aver carichi di trazione di 140~160 libbre. Se fosse così, il valore sarebbe solo quello degli arcieri che riescono a tenderlo. Da un esperto intervistato a DISCOVERY CHANNEL, ci è capitato di sentire che le leve servono ad aumentare la forza dei flettenti. Forse, sarebbe meglio dire che queste servono a rendere più dolce un arco che altrimenti sarebbe troppo duro, a fine trazione. Altri sostengono che l'arco allentato sia talmente retroflesso da rinchiudersi su se stesso, tanto che incordare un arco di questo tipo non sia cosa agevole e occorra un faticoso lavoro, da farsi in più persone e in tempi lunghi. E' vero che nei musei si possono osservare archi mongoli, ma anche turchi e magiari, attorcigliati in modo sorprendente, ma è probabile che questa esagerazione sia dovuta al fatto che i tendini animali, posti sulla faccia esterna dei flettenti, si disidratano e si contraggono con il tempo, e con l'assenza d'utilizzo.

Esaminando le testimonianze più attendibili, e gli esemplari tuttora prodotti in modo artigianale, si può ritenere che il libbraggio abituale non superi le settanta libbre e che la struttura standard sia piuttosto quella qui di seguito riprodotta. Resta comunque il problema di un assetto tendenzialmente instabile, che giustifica le caratteristiche protuberanze poste alla radice della leva – i cosiddetti **recettori** o

ponticelli – che hanno lo scopo di impedire che la corda sfugga lateralmente con rovinose conseguenze.

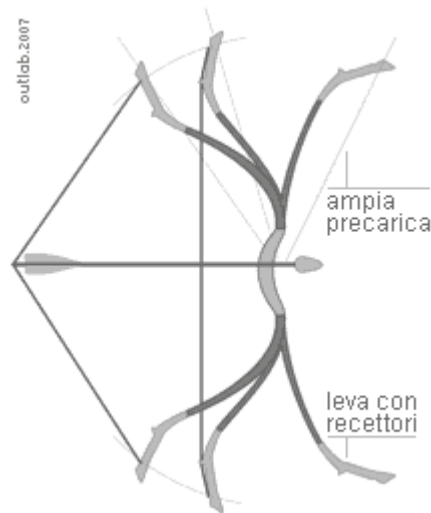


Fig.1 - Arco riflesso rappresentato allo stato teso, incordato e allentato

Per valutare le sue particolarità tecniche – e discutere concretamente l'ottimizzazione del suo dimensionamento – è utile approntare un modello matematico. Purtroppo, per questo tipo di arco non abbiamo test di laboratorio sufficienti per proporre uno schema di riferimento semplificato. Quindi, siamo costretti a fare uso di uno schema d'analisi già collaudato, integrandolo con le specificità del caso.

Queste sono:

- impugnatura rigida e rientrante che non partecipa alle flessioni, ma riduce l'altezza della corda
- leve angolate e rigide poste alle estremità dei flettenti, che ne modificano il braccio d'azione rispetto alla corda
- retroflessione dei flettenti ad arco allentato che dà origine ad un ampio angolo di precarica.

Per il resto abbiamo mantenuto i criteri del modello Hickman per il quale:

- un'asta che si piega con raggio di curvatura costante, ha l'estremità che percorre la medesima circonferenza che sarebbe tracciata da un'asta rigida – detta **braccio virtuale** – che abbia lunghezza uguale a tre quarti del flettente reale.
- il momento flettente generato dall'asta agisce perpendicolarmente ad essa ed è proporzionale all'angolo percorso dal flettente virtuale a partire dalla sua posizione ad arco allentato.

Lo schema funzionale di riferimento è quello proposto qui sotto, dal quale deriva che l'arco agisce con due modalità che vanno simulate separatamente:

- **fase zero** : per la quale le leve, insieme alle corrispondenti lunghezze di corda, sono del tutto inattive
- **fase uno** : per la quale le leve partecipano attivamente alla ripartizione delle forze.

Facendo un'analisi grafica più accurata si può dimostrare che, passando dalla fase zero alla fase uno, il centro di rotazione del punto sul quale agisce la corda si sposta da **B** ad un'altra collocazione più bassa, in direzione di **R**.

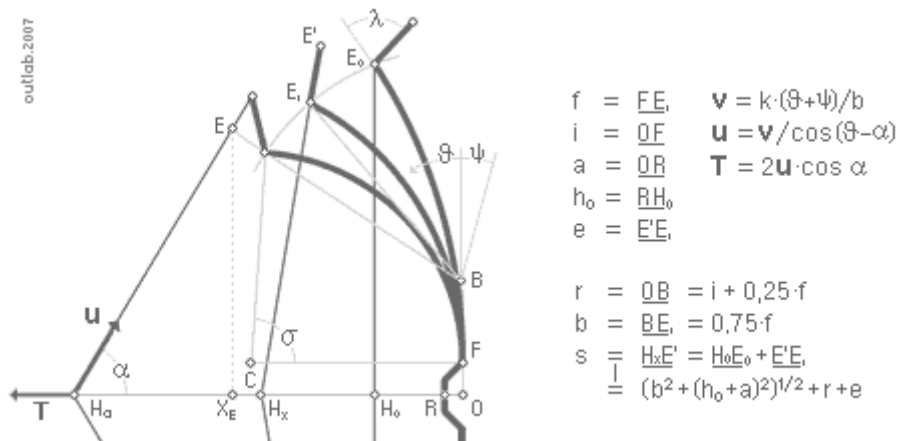


Fig.2 - Schema funzionale di riferimento

Il punto di conversione da una fase all'altra è indicata nella Fig.2 dall'allungo H_x , per il quale la corda è allineata con entrambi i punti E , e E' . Ciò significa che, per allunghi maggiori di H_0 e minori di H_x , possono essere applicati gli algoritmi di Hickman, trascurando le leve e le relative lunghezze della corda. Per allunghi maggiori di H_x è necessario adottare nuove formule che tengano conto della misura in cui la lunghezza dei flettenti virtuali aumenta per azione dalle leve.

Per semplificare le formule di calcolo, riteniamo che sia preferibile:

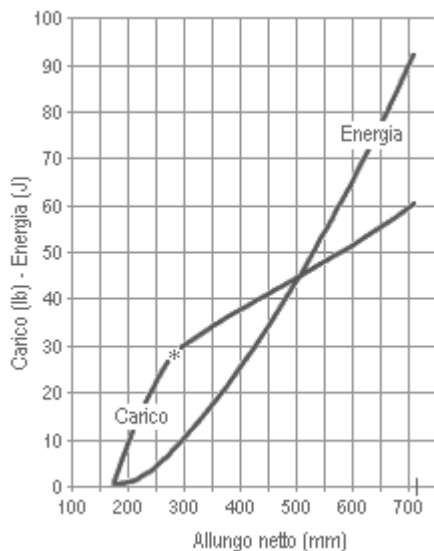
- predisporre le misurazioni con riferimento ad un punto d'origine, indicato con O , che è posto sull'asse che unisce i centri di rotazione dei flettenti virtuali
- avviare la sequenza dei calcoli in funzione dell'angolo del flettente virtuale
- stabilire che tra i parametri noti, su cui costruire il modello, vi sia l'altezza della corda ad arco incordato, lasciando ai calcoli la determinazione della sua lunghezza totale.

La struttura degli algoritmi utilizzati è riportata in appendice di questo testo, insieme all'indirizzo di accesso al foglio di calcolo EXCEL che simula il test di trazione e ne traccia il diagramma carico/energia in funzione dell'allungo.

Proviamo ora ad immettere nel modello i seguenti dimensionamenti che supponiamo rappresentativi del tipo di arco in questione.

▪ $f = \underline{FE}$,	lunghezza del flettente reale	0,53	m
▪ $e = \underline{E'E}$,	lunghezza della leva rigida	0,17	m
▪ λ	angolo tra leva e flettente	60	°
▪ $h_0 = \underline{RH_0}$	altezza della corda ad arco incordato	0,17	m
▪ $i = \underline{OF}$	semilunghezza dell'impugnatura reale	0,13	m
▪ $a = \underline{OR}$	arretramento dell'impugnatura	0,04	m
▪ ψ	angolo di precarica del flettente	25	°
▪ h_a	allungo d'ancoraggio netto	0,72	m
▪ T	carico all'allungo d'ancoraggio	60	#

Quello che segue è il diagramma di carico e gli indici che ne conseguono.



60 lb	carico d'ancoraggio
0,72 m	allungo d'ancoraggio
1,54 m	lunghezza totale della corda
0,28 m	allungo di conversione (*)
92 J	energia accumulata
0,34 J/N	energia/carico
60 J/m	energia/apertura

Fig.3 - Risultati forniti dal modello

A prima vista, il diagramma non sembra diverso da quello di un arco ricurvo. Eppure, il rapporto energia/carico dà un valore che supera quello di molti compound a carrucole: 0,34 J/N. Osservando con più attenzione, ci si rende conto che la curva del carico di trazione inizia crescendo rapidamente per rallentare successivamente. In altre parole, a parità di carico d'ancoraggio, il carico medio di trazione è maggiore, con il risultato di accumulare più energia nell'arco. L'asterisco che appare nel diagramma indica il punto di conversione in cui entrano in funzione le spalle.

Possiamo ora usare il modello per ricavare qualche indicazione sui possibili dimensionamenti ottimali. Per rendere questa esplorazione più comprensibile, è opportuno variare i parametri qui sopra ipotizzati, uno o al massimo due per volta, mantenendo costanti l'allungo d'ancoraggio ed il relativo carico di trazione.

Maggiore lunghezza totale dell'arco

Aumentando del 6% circa la lunghezza dei flettenti e delle leve:

rispettivamente da 53 a 56 e da 17 a 18 centimetri

- il punto di conversione cresce di 3,5 centimetri
- l'energia accumulata aumenta del 4%.

Minore lunghezza della leva

Aumentando di 2 centimetri la lunghezza delle leve e riducendo altrettanto i flettenti:

rispettivamente da 17 a 19 e da 53 a 51 centimetri

- il punto di conversione si riduce di 1,6 centimetri
- l'energia cala meno dell'1%.

Minore angolo della leva

Riducendo di 10° l'angolo λ tra flettente e leva:

da 60 a 50°

- il punto di conversione si riduce di 8,1 centimetri
- l'energia accumulata cala del 5%

Maggiore angolo della leva

Aumentando di 10° l'angolo λ tra flettente e leva:

da 60 a 70°

- il punto di conversione cresce di 7,2 centimetri
- l'energia accumulata aumenta del 3%.

Maggiore altezza della corda

Aumentando l'altezza della corda di quasi il 20% :
da 17 a 20 centimetri

- il punto di conversione cala di 3,7 centimetri
- l'energia accumulata diminuisce dell'11%.

Sembrerebbe di poter concludere che anche questo tipo di arco guadagnerebbe in energia accumulata se i suoi flettenti fossero più lunghi. Se per tradizione ha dimensioni contenute, il motivo sta nel fatto che anticamente fu utilizzato stando perlopiù in sella ad un cavallo.

A parità di lunghezza della corda, limitate variazioni di dimensione della leva non hanno influenza sensibile, mentre variazioni dell'angolo tra flettente e leva, nella misura di $\pm 10^\circ$, influiscono sull'energia accumulata nell'ordine di $\pm 5\%$. Valori prossimi all'angolo retto sarebbero in teoria particolarmente favorevoli. In realtà questi archi hanno angoli della leva che non superano i 60° . Inoltre, molti degli archi classificati come riflessi sono degli ibridi con leve poste in modo che la corda si stacca dal ponticello non appena inizia la trazione. Probabilmente questo dipende da difficoltà di pratica costruttiva e di stabilità d'uso.

Tra i parametri qui indagati, l'altezza della corda mostra d'avere particolare influenza. Forse è per questo motivo che l'impugnatura arretrata è caratteristica quasi sempre presente.

Qui si conclude ciò che possiamo dire noi: costruttori di archi virtuali fatti di formule matematiche. Ora avremmo bisogno di un costruttore di archi veri – almeno di legno e resina se non di corno e tendini – per spiegare come mai gli archi ricurvi utilizzati nelle competizioni sportive olimpiche non mostrano riferimenti all'esperienza costruttiva dell'arco riflesso.

C'è l'evidenza che nella tradizionale competizione di UlanBaatar, gli arcieri mongoli si confrontano con tiri a novanta metri, su bersagli dell'ordine di mezzo metro. E questo non è poco.



APPENDICE : Algoritmi del modello

Prima d'avviare la sequenza dei calcoli è opportuno definire alcuni parametri derivati:

$b = \underline{BE}$, = 0,75·f	lunghezza del braccio virtuale
$r = \underline{OB}$ = i + 0,25·f	lunghezza dell'impugnatura virtuale
$s = \underline{H_xE'E}$, = $(b^2 - (h_o + a)^2)^{1/2} + r + e$	semilunghezza della corda

Qui di seguito è descritta la struttura degli algoritmi adottati dal modello con riferimento allo schema rappresentato nella Fig.2 e alle dimensioni indicate nei paragrafi successivi.

Con le notazioni X_h e X_e si conviene di indicare la distanza da O – rilevata sull'asse orizzontale – di generici punti H e E.

1. Valore iniziale dell'angolo θ tra flettente e asse dell'impugnatura

$$\theta_o = \arcsen((h_o + a) / b)$$

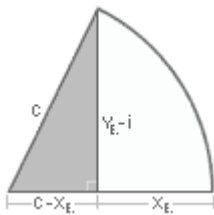
2. Incrementi dell'angolo θ nella sequenza iterativa di calcolo

circa 50 passi con incrementi costanti, perlopiù calcolati moltiplicando il valore precedente per un fattore uguale a 1,025, mentre i primi 10 passi hanno incrementi più ridotti.

3. Coordinate del punto E, posto all'inizio della leva

$$X_E = b \cdot \sin\theta$$
$$Y_E = X_E / \tan\theta + r$$

4. Raggi di curvatura del flettente reale



$$c^2 = (Y_E - i)^2 + (c - X_E)^2$$
$$c = \underline{CF} = (X_E^2 + (Y_E - i)^2) / (2 \cdot X_E)$$

5. Angoli σ che sottintendono la curvatura del flettente

si deve considerare che questo angolo possa superare 90° e quindi:

$$\text{se } c > X_E \quad \sigma = \arcsin((Y_E - i) / c)$$
$$\text{se } c < X_E \quad \sigma = 180^\circ - \arcsin((Y_E - i) / c)$$

6. Coordinate del punto E' posto al termine della leva

$$X_{E'} = X_E - e \cdot \cos(\sigma + 90 - \lambda)$$
$$Y_{E'} = Y_E + e \cdot \sin(\sigma + 90 - \lambda)$$

7. Ascisse dell'allungo H riferito a E, in assenza delle leve

$$X_h = ((s - e)^2 - Y_E^2)^{1/2} + X_E$$

8. Angolo α racchiuso tra corda e freccia per E,

$$\alpha = \arctan(Y_E / (X_h - X_E))$$

7. Ascisse dell'allungo H riferito a E' in presenza delle leve

$$X_{h'} = (s^2 - Y_{E'}^2)^{1/2} + X_{E'}$$

8. Angolo α' racchiuso tra corda e freccia per E'

$$\alpha' = \arctan(Y_{E'} / (X_{h'} - X_{E'}))$$

9. Punto di conversione nell'azione della leva

$$\text{fase}=0 \quad \text{per } \alpha' < \alpha,$$
$$\text{fase}=1 \quad \text{per } \alpha' > \alpha,$$

10. Ascisse del punto E proiettato da E' sull'asse del flettente virtuale

l'equazione della retta che percorre il flettente virtuale è: $y = x / \tan\theta + r$

l'equazione della retta che percorre la corda è: $y = (X_{h'} - x) \cdot \tan\alpha$

quindi:

per fase=0 X_E è assente

per fase=1 $X_E = (X_{h'} \cdot \tan\alpha' - r) / (\tan\alpha' + 1 / \tan\theta)$

11. Lunghezza del flettente virtuale

per fase=0 $b' = b$

per fase=1 $b' = X_E / \sin\theta$

12. Allungo netto

per fase=0 $h = X_{h'} - a$

per fase=1 $h = X_{h'} - a$

13. Valore grezzo del momento flettente v

i valori grezzi sono al lordo del coefficiente k di flessibilità

il valore k è poi calcolato in funzione delle specifiche del carico di trazione **T** e dell'allungo d'ancoraggio h_a

$$v = (\theta + \psi) / b'$$

14. Valore grezzo della componente u sulla corda

per fase=0 $u = v / \cos(\theta - \alpha)$

per fase=1 $u = v / \cos(\theta - \alpha')$

15. Valore grezzo dei carichi di trazione t

per fase=0 $t = 2 \cdot u \cdot \cos\alpha$

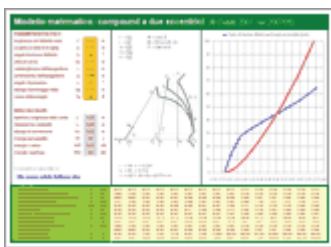
per fase=1 $t = 2 \cdot u \cdot \cos\alpha'$

16. Valore netto dei carichi di trazione t

$$T_n = t \cdot k \quad \text{dove } k = T / t_a$$

17. Valore netto dell'energia accumulata W

$$W_n = W_{n-1} + (h_n - h_{n-1}) \cdot (T_n + T_{n-1}) \cdot 4,45 / 2$$



modello in: www.outlab.it/doc/outlab_2.xls (Excel 200KB)

Vedere altri documenti da: www.outlab.it