

**Considerazioni sull'ariete in Apollodoro di Damasco,
Πολιορκετικά 158, 5-9***

Francesco Fiorucci

Abstract. In Apollodorus of Damascus' description of the ram (Πολιορκετικά 158, 5-9), both mechanical and textual considerations support the restoration of the transmitted reading παρὰ μέρος against Schneider's emendation παράμεσος, which has been until now accepted by scholars. On the basis of a comparison between ram and balance, some technical aspects of the former are then discussed.

Una recente edizione dei *Poliorketika* di Apollodoro di Damasco ha riproposto alla comunità scientifica quest'opera poco conosciuta, rendendo disponibile un testo che, data la sua natura puramente tecnica, rientra nel novero delle poche testimonianze greco-latine in cui vengono descritti nel dettaglio alcuni congegni ossidionali e riveste pertanto una notevole rilevanza per la nostra conoscenza della poliorcetica antica¹.

Sebbene l'editore abbia prodotto un lavoro degno di considerazione, che si propone come un solido punto di riferimento per futuri approfondimenti, soprattutto per quanto riguarda il commento, le oggettive difficoltà che caratterizzano numerosi passi lasciano margine a soluzioni ecdotiche divergenti, che possono aprire anche a differenti interpretazioni sulle caratteristiche tecniche dei mezzi illustrati².

Ci occuperemo in questa sede di una delle macchine più efficaci della storia, ineluttabilmente connessa al destino di numerose città: l'ariete³.

Apollodoro, come apprendiamo dal proemio, scrive in occasione di una determinata campagna militare, per la quale viene incaricato dal regnante (da identificare probabilmente con Traiano, al potere nell'intervallo 98-117 d. C.) di progettare una ricca e multiforme serie di macchine belliche destinate ad accompagnare gli eserciti imperiali⁴. Proprio alle righe iniziali l'autore affida anche

* Il presente lavoro è frutto della collaborazione con il Dott. F. S. Frillici, fisico del Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali dell'Università degli Studi di Firenze, cui si deve l'elaborazione delle figure, con le relative didascalie, in appendice al contributo. Si è scelto qui di esemplificare al massimo queste sezioni conclusive, essendo un semplice, per quanto indispensabile, corollario alle osservazioni più propriamente filologiche.

¹ L'edizione in parola è quella di WHITEHEAD 2010. Da segnalare inoltre il testo curato e tradotto da COMMARE 1999a (edizione corredata di vari saggi); nonché il datato, ma ancora utile, SCHNEIDER 1908. Intorno all'antica arte ossidionale, il suo sviluppo storico e le principali macchine in uso, indispensabile il classico lavoro di GARLAN 1974, ma vd. anche il più recente KERN 1999. Si sono inoltre proliferate negli ultimi anni le pubblicazioni che propongono ad un vasto pubblico ricostruzioni grafiche di macchine d'assedio, basate tuttavia su interpretazioni dei testi non sempre ineccepibili, tra le quali segnalo CAMPBELL/DELF 2003; CAMPBELL/HOOK 2005 e NOSSOV 2005.

² Per una discussione più approfondita del saggio rimando alla mia recensione ad esso dedicata: FIORUCCI 2012.

³ Nello specifico su questa macchina e la sua storia vd. le note di GARLAN 1974, pp. 137-140 e pp. 236-239 (sui relativi passi di Ateneo Meccanico e Vitruvio si avrà occasione di ritornare *infra*). Di carattere divulgativo anche SÁEZ ABAD 2005.

⁴ La questione del destinatario, unita a quella della stessa identità dell'autore e dell'episodio bellico in cui lo scritto sarebbe stato redatto, rimane a tutt'oggi non del tutto pacificamente risolta, almeno stando ai diversi pareri degli studiosi. Vd. per esempio WHITEHEAD 2010, p. 17 ss. (con ulteriori riferimenti bibliografici), COMMARE 1999b, p. 83 s. e il recente STROBEL 2010, p. 341 ss. Su Apollodoro e la sua opera da varie prospettive vd. anche LAMMERT 1938; RIDLEY 1989 e BLYTH 1992.

alcune riflessioni generali su come intende affrontare l'impresa affidatagli, stabilendo anzitutto dei criteri fondanti per la realizzazione delle sue macchine. Queste dovevano essere leggere, costruite con materiali facili a reperirsi ed assemblate con piccole componenti⁵:

Ταῦτα παρασκευάζεσθαι εὐπόριστα τῇ ὕλῃ, ποικίλα τοῖς σχήμασιν, ἐλάχιστα τοῖς μέτροις, ἐλαφρὰ τοῖς βάρεσιν, ὑπὸ τυχόντων τεχνιτῶν ταχέως γίνεσθαι δυνάμενα (139, 4-7)⁶.

Si deve provvedere a questo con materiale di facile reperimento, in forme diverse, con la massima riduzione delle dimensioni e del peso, in modo che si possa sopperire rapidamente con gli artigiani disponibili.

Sulla base dei presupposti ora indicati, non fa quindi eccezione il tipo di ariete che Apollodoro giudica adatto all'impresa di Traiano e su cui fornisce i seguenti ragguagli:

Πᾶς κριὸς ὁ μείζων, ὁ μακρότερος, ὁ ὑψηλότερον ἔχων τὸ ἄρτημα ἰσχυρότερος τῶν μὴ οὕτως ἐχόντων. Ἐὰν οὖν μικρὸν ᾖ τὸ ξύλον, παράμεσος ἠρτήσθω, ὥστε τὸ πρὸς τῇ πληγῇ μακρότερον εἶναι· ἐπὶ δὲ τὸ ἔτερον, ἵνα ἰσοροπῇ, μέρος μολιβδᾶ ἐφηλουσθω βάρη, καὶ παρέξει μακροῦ ἐνέργειαν καὶ βάρος (158, 5-9)⁷.

Ogni ariete più grande, più lungo, con un pendaglio più alto è più potente di quelli che non hanno queste caratteristiche. Se si ha a disposizione solo una trave piccola, questa sia appesa in modo tale che il baricentro non sia perfettamente al centro, ma che sia più lunga la parte che infligge il colpo; sull'altra parte, perché stia in equilibrio, siano fissati dei pesi di piombo; così avrà la forza e la potenza di un ariete lungo⁸.

⁵ Sull'opportunità di avere a disposizione delle macchine facilmente trasportabili, vd. anche i suggerimenti di Erone, *Belopoeica* 90, 3-4 nell'edizione di riferimento MARSDEN 1971, p. 28 (lo studioso inglese non a caso rinvia, nelle relative note a p. 52, proprio ad Apollodoro).

⁶ Riporto qui, come anche in seguito, il testo dal succitato saggio di WHITEHEAD 2010 (sui problemi di autenticità di alcune sezioni, che l'editore ritiene post-apollodoree, rimando al commento dei rispettivi passi). Le traduzioni sono invece tratte da COMMARE 1999a.

⁷ In 158, 5-6 il testo di Whitehead è migliore di quello stampato da COMMARE 1999a, p. 30, dove viene preferito ὑψηλότερος, che non dà però un senso adeguato. L'evidente discrepanza derivante dal confronto con la traduzione, qui riprodotta, che sembra uniformarsi al testo con ὑψηλότερον, fa propendere a ritenere che la forma al nominativo maschile sia in realtà un semplice errore grafico (una riprova ne sarebbe l'assenza in apparato di qualsivoglia delucidazione sulla scelta di preferire ὑψηλότερος). Se mai ce ne fosse necessità, una conferma sull'esattezza della concordanza dell'aggettivo con ἄρτημα ci giunge, oltre che dalla tradizione manoscritta esaminata dagli editori, da quanto leggiamo in 153, 10 ss.: ὑψηλοῦ γὰρ ὄντος τοῦ ἀρτήματος πλεῖον ἐπισπᾶται ὁ κριὸς διάστημα καὶ ἐκ μακροῦ ἐπιφερόμενος ἐνσεύεται πλεῖον. Sarebbe anzi da chiedersi (ipotesi che qui si menziona comunque solo a fini di completezza) se non sia corretta la lezione ὁ ὑψηλόν, attestata dal codice M e in perfetta corrispondenza col passo appena citato, sospettando la forma comparativa di un condizionamento attivato dalla presenza dei precedenti ὁ μείζων / ὁ μακρότερος. Sul valore dei codici e la preminenza di M vd. l'ancora utile rassegna (cui rinvia anche WHITEHEAD 2010, p. 12) di SCHNEIDER 1908, pp. 6-7. Per la ricostruzione della testuggine arietaria descritta qui da Apollodoro si rimanda alle note di WHITEHEAD 2010, *ad loc.*; vd. inoltre LENDLE 1975, pp. 103-123. Una parte del materiale apollodoreo è confluito, com'è noto, nella silloge bizantina conosciuta come *Parangelmata Poliorcetica*, pubblicata e commentata da SULLIVAN 2000 (soprattutto pp. 197-201 sulla macchina qui studiata).

⁸ Ad Apollodoro non era ovviamente sfuggita la primaria importanza del parametro dell'altezza della sospensione (come del resto evidente anche dalle parole ὁ ὑψηλότερον ἔχων τὸ ἄρτημα in 158, 5), affrontato nel dettaglio poco sopra in 153, 8-12, dove si consiglia di realizzare alte e snelle testuggini: Ἐὰν κριῶ θέλωμεν πύργον ἢ πύλην ἢ τεῖχος σεῖσαι, ποιήσομεν

Partiamo innanzitutto da qualche osservazione testuale. L'aggettivo *παράμεσος* è emendazione di Schneider, accolta da Whitehead e tradotta con 'off-centre', per il concorde *παρὰ μέρος* dei codici⁹. L'intervento, accettato in modo forse troppo pacifico dalla critica, genera in realtà alcune forzature sia di ordine tecnico che testuale. Mantenendo il testo tradito ci si trova però di fronte a quella che pare, perlomeno di primo acchito, una seria perplessità: cosa significa infatti *παρὰ μέρος*¹⁰? Per offrire una risposta adeguata al quesito si deve muovere dalla constatazione che *μέρος*, come risulta chiaro dal resto del passo (cfr. *ἐπὶ δὲ τὸ ἕτερον ... μέρος*), designa senz'altro una delle porzioni in cui la trave-ariete viene suddivisa dal punto di aggancio (della corda o catena) che funge da fulcro della macchina: la lunghezza dei due segmenti venutisi così a creare varia a seconda della posizione dello stesso fulcro. Da una tale verifica si deduce che dobbiamo attribuire alla locuzione il generico valore locativo di 'da una parte'¹¹. In questo studio si intende dimostrare che è proprio *παρὰ μέρος*, col senso appena ricordato, il testo da conservare. Un duplice ordine di ragioni sostanzia la difesa della tradizione: questa risulta senz'altro più coerente da un punto di vista meccanico con quanto è possibile ricostruire sul funzionamento del congegno (vd. figg. 1 e 2); inoltre la frase dei codici si armonizza meglio con la struttura del periodo.

Occupiamoci prima di tutto degli aspetti fisico-meccanici. La situazione illustrata nella fig. 1 costituisce senz'altro quella da cui l'autore idealmente muove: suggerendo Apollodoro lo spostamento del punto di sospensione (ciò risulta palese sia mantenendo *παρὰ μέρος* che correggendo *παράμεσος*) si deduce infatti che il caso standard prevedeva l'aggancio al centro della trave, cosicché i due segmenti (o bracci) a destra e sinistra del fulcro risultassero uguali¹². Partendo dal presupposto che la trave-ariete doveva operare su un piano orizzontale (o pressoché tale) per risultare efficace (cfr. i motivi esposti nella didascalia di fig. 1), ogni spostamento di tale punto di aggancio dal centro verso una delle estremità doveva necessariamente essere compensato per ristabilire l'equilibrio (cfr. *ἵνα ἰσορροπῆ*). Da un punto di vista empirico possiamo verificare che quanto più distante da un dato centro si trova

χελώνας κριοφόρους ὑποτρόχους ὑψηλάς, αἱ τὸ ἄρισμα τοῦ κριοῦ φέρουσιν, ἵνα βιαία ἢ πληγὴ γένηται· ὑψηλοῦ γὰρ ὄντος τοῦ ἀρτίματος πλεῖον ἐπισπᾶται ὁ κριὸς διάστημα καὶ ἐκ μακροῦ ἐπιφερόμενος ἐνσεῖεται πλεῖον ("Se vogliamo fare crollare una torre o una porta o delle mura, costruiremo testuggini alte, fornite di ariete e di ruote; l'ariete è sollevato per dare maggiore forza al colpo; infatti, dal momento che è posto in alto, l'ariete può essere tirato molto più indietro, in modo tale che, irrompendo da lontano, il colpo abbia maggiore forza distruttiva"). Nel caso dell'ariete sbilanciato qui in esame l'altezza resta però costante e non gioca pertanto alcuno ruolo per le nostre considerazioni.

⁹ Vd. SCHNEIDER 1908, p. 24; WHITEHEAD 2010, p. 102 s. e anche COMMARE 1999a, p. 30. La scelta degli editori trova appoggio in *LSJ* s.v., dove il senso di 'out of the centre of gravity' nel passo di Apollodoro è suggerito come probabile. L'aggettivo *παράμεσος* è di uso piuttosto raro, attestato più volte in Galeno, unito a *δάκτυλος*, per designare il dito anulare, perché situato vicino al centro, accanto al medio. Vd. *ThGL* s.v. *παράμεσος*. Il testo dei codici viene preferito ancora nell'edizione di WESCHER 1867, p. 158.

¹⁰ Naturalmente niente a che fare col senso avverbale di 'a turno' che la locuzione normalmente assume. Vd. *LSJ* s.v. *μέρος*.

¹¹ A tal fine non crea particolari intralci la costruzione *παρὰ* con l'accusativo. La preposizione è più comunemente accompagnata da verbi di movimento, ma attestata anche in associazione a quelli esprimenti quiete: nel qual caso *παρὰ* acquista di regola il valore di 'along', 'by', 'beside'. Cfr. SMYTH 1984³, p. 382. Vd. *infra* il decisivo confronto con i *Belopoeica* di Erone.

¹² Sul concetto di punto di sospensione vd. anche le riflessioni di MARTINES 1999, p. 96 s.

l'aggancio, tanto maggiore deve essere la forza da applicare, e quindi il peso o massa necessari, per ripristinare l'originaria posizione di riposo del mezzo (vd. fig. 3)¹³.

Come si evince dalle due espressioni di fig. 3, se si volesse rimettere in equilibrio la trave opportunamente fatta inclinare ponendo la fune-aggancio ad una certa distanza dal centro, non basterebbe aggiungere la differenza di massa (cioè 3 *m*), bensì 15 *m*, in modo da eguagliare le due coppie. Ciò significa che complessivamente la trave ora avrebbe una massa quattro volte superiore a quella originaria (infatti all'inizio aveva una massa totale pari a 5 *m* e alla fine di 20 *m*). Apollodoro istruisce pertanto su come sfruttare il principio fisico sopra esposto per costruire un ariete piccolo, ma con la forza demolitrice di uno molto più grande.

Ora, per ottenere un vantaggio significativo da un tale mezzo, considerando le dimensioni relativamente ridotte della trave di partenza e mantenendo costante l'altezza della sospensione e quindi il tratto percorso dalla trave stessa prima dell'impatto, è necessario massimizzare le uniche due variabili a disposizione:

- 1) la distanza del punto di sospensione rispetto al centro
- 2) il conseguente peso necessario a riequilibrare l'assetto orizzontale.

Con ogni evidenza il parametro che interessa Apollodoro nel frangente è quello del peso (un ariete più pesante è ovviamente più efficace), dipendente in proporzione dal posizionamento del punto di aggancio.

La versione dei codici va dunque ristabilita, perché indica con precisione uno spostamento del punto di sospensione verso uno dei segmenti in cui la trave viene divisa dalla corda-fulcro: ciò si intende appunto, come già visto, tramite μέρος, parola chiave che va mantenuta.

Per le ragioni tecniche sopra esposte, risulta opportuno interpretare tale punto come tendente verso una delle estremità, soluzione che permetterebbe di applicare il massimo peso possibile e rendere l'ariete più distruttivo (su tale aspetto si avrà modo di tornare anche *infra*). Qualora invece la sospensione fosse posizionata nelle immediate vicinanze del centro, come insito in maniera inequivocabile nell'aggettivo παράμεσος (cfr. l'uso che ne fa Galeno), il peso da aggiungere sarebbe minimo ed il vantaggio di allestire allo scopo una trave di dimensioni ridotte verrebbe pressoché annullato¹⁴.

Accanto alle valutazioni di natura tecnica, quanto restituito dalla tradizione e qui difeso permetterebbe anche di eludere una difficoltà testuale non di poco conto, cui è soggetta la frase stampata da Schneider e Whitehead. Concordato con παράμεσος sarebbe infatti κριός, che dobbiamo intendere sottinteso, perché menzionato solo sopra, nella frase in cui Apollodoro anticipa la norma che deve regolare la progettazione degli arieti. Mantenendo παρά μέρος, il soggetto di ἤρτησθω sarebbe invece più logicamente il τὸ ξύλον che precede¹⁵. Inoltre

¹³ Come opportunamente mi fa notare il Dott. Frillici sarebbe stato in realtà di più immediata realizzazione la semplice aggiunta di pesi ai lati della trave all'altezza del punto di sospensione centrale, per ottenere un risultato praticamente identico. Dobbiamo però prendere atto che Apollodoro contempla esclusivamente la tipologia di ariete qui in esame.

¹⁴ A ben vedere l'indicazione insita nella generica resa 'off-centre' di Whitehead rispecchia sostanzialmente quanto Apollodoro vuole esprimere, ma forza il significato di παράμεσος: una corretta ricostruzione implica il sistemare con esattezza il punto di aggancio nella nuova configurazione della trave sbilanciata.

¹⁵ Per eludere l'inconveniente, gli editori a favore della correzione avrebbero cioè dovuto stampare il neutro παράμεσον, scostandosi però ancor più da quanto riportato consensualmente nei testimoni.

l'avversativa ἐπὶ δὲ τὸ ἕτερον . . . μέρος, con cui si designa l'estremità posteriore dove vanno fissati i pesi, dimostra che Apollodoro ha segnalato in precedenza il primo termine del confronto, rappresentato dalla sezione di trave opposta, definita τὸ πρὸς τῆς πληγῆς, il cui soggetto va identificato in un sottinteso μέρος, concetto anticipato opportunamente da παρὰ μέρος. A ulteriore riprova di come sia quantomeno faticoso pensare alla presenza di κριός nella frase (fatto che inficia ovviamente anche la correzione παράμεσος) basti constatare che il soggetto di παρέξει è senz'altro ancora τὸ ξύλον, in quanto il termine di paragone costituito dall'aggettivo μακρός è posto in antitesi col precedente μικρός, riferito appunto alla trave e non all'ariete¹⁶.

Possiamo a questo punto rispondere con maggior consapevolezza alla domanda iniziale sulla valenza di παρὰ μέρος, confrontando il nostro passo con altri testi, utili anche a definitiva riprova che la lezione dei codici è in realtà quella originaria. Il medesimo nesso compare infatti anche altrove nei saggi di meccanica militare. Di particolare interesse si rivelano due occorrenze dei *Belopoeica* di Erone, che riproduco qui di seguito:

85, 3-6 δύναται δὲ τὸ πολύσπαστον ἄλλως μετατεθῆναι, ὅταν οἱ μὲν ἐν τῷ ἐνὶ μαγγάνῳ αὐτοῦ τροχιλοὶ ἐν τῷ χελωνίῳ τεθῶσιν, οἱ δὲ ἐν τῷ ἐτέρῳ ἐν τῆς σύριγγι παρὰ τὸ κάτω μέρος τὸ πρὸς τῷ ἄξονι.

85, 8-10 ἐὰν τῷ ἄρρени πελεκίνῳ ὑπὸ τὸ ἄκρον αὐτῆς τῆς διώστρας παρὰ τὸ κάτω μέρος ἄξονα πλάγιον ἐμβάλλωμεν¹⁷.

L'enunciato risulta chiaro: nel primo caso l'autore sta spiegando dove è opportuno piazzare, in un grande pezzo di artiglieria a torsione, il cosiddetto πολύσπαστον (cioè il sistema di trazione della corda che garantiva il caricamento dell'arma) e una delle posizioni consigliate allo scopo è indicata tramite l'espressione παρὰ τὸ κάτω μέρος, cioè 'nella parte posteriore'¹⁸. La costruzione con παρά designa

L'aporia, trascurata da Whitehead, si manifesta in realtà nella resa in inglese: "If, then, the timber is a small one, let it be hung off-centre, to make the end near the blow longer" (WHITEHEAD 2010, p. 47). Sembra che la componente che debba essere sospesa decentrata ('let it be hung off-centre') sia il precedente 'timber' (o almeno sussiste il rischio di ambiguità), ma ciò non corrisponde al testo greco con παράμεσος. Simili conclusioni valgono per la citata traduzione di Commare: "Se si ha a disposizione solo una trave piccola, questa sia appesa in modo tale che il baricentro non sia perfettamente al centro" e di SCHNEIDER 1908, p. 25: "Wenn man nun nur einen kurzen Balken hat, so muß man hin, nicht am Schwerpunkte, sondern so aufhängen, daß das Stoßende länger ist". Uno studio approfondito della lingua dei *Poliorketika* è ancora da realizzare, ma alcuni rilievi hanno mostrato le oscurità che costellano qua e là il testo, dovute parzialmente alla natura tecnica della materia trattata, ma riconducibili forse anche all'origine siriana dell'autore (prospettiva ventilata da COMMARE 1999b, p. 84). Nel caso in parola non sembra comunque opportuno, né indispensabile, ipotizzare qui un'errata concordanza dell'aggettivo παράμεσος, essendo questo in realtà una congettura.

¹⁶ Un ulteriore sostegno alla ricostruzione qui proposta sopraggiunge da quanto scrive l'autore immediatamente di seguito al passo in esame, dove si prevede la possibilità di assemblare arieti composti da più travi piccole 159, 1 s.: Ἐὰν βραχέα ἢ τὰ ξύλα, καὶ πλείονα, οἷον δύο καὶ τρία, συντιθέμενα μέγαν κριὸν ποιήσει ("Se si hanno a disposizione più assi corte, ad esempio due o tre, queste, messe insieme, faranno un grande ariete"). Dopo la norma enunciata in 158, 5-6 anche qui l'attenzione si focalizza insistentemente sull'effettiva componente del mezzo, lo ξύλον.

¹⁷ Il testo è preso ancora da MARSDEN 1971, p. 24 s., cui si rimanda anche per osservazioni relative ai congegni descritti.

¹⁸ Questa la traduzione di MARSDEN 1971, p. 25, da cui ben si evidenzia la valenza appena suggerita: "The pulley-system can be arranged differently, as when several pulleys are placed in the single pulley-

dunque un determinato punto sull'oggetto in questione, trattandosi tra l'altro della $\sigma\upsilon\rho\iota\gamma\chi$, cioè di una componente allungata che evidentemente per facilità di esposizione veniva idealmente suddivisa in segmenti, esattamente come avviene in Apollodoro per l'ariete.

Nel secondo passo, inerente stavolta al sistema che permette alla slitta ($\delta\iota\omega\sigma\tau\rho\alpha$), elemento mobile in alcuni modelli di armi da lancio, di scorrere in avanti, si spiega che è necessario inserire un asse orizzontale che l'attraversi, da sistemare all'estremità posteriore, cioè ancora $\pi\alpha\rho\grave{\alpha}$ τὸ κάτω μέρος¹⁹.

Ripensando il $\pi\alpha\rho\grave{\alpha}$ μέρος apollodoreo alla luce delle occorrenze ora citate non sussiste ragione di dubitare della correttezza dei codici, visto che una simile costruzione, con analogo significato, compare già nel registro della meccanica militare.

In conclusione, il passo in esame va lasciato nel modo seguente: “Ἐὰν οὖν μικρὸν ᾖ τὸ ξύλον, παρὰ μέρος ἤρτησθω”, “se pertanto la trave è corta, sia appesa da una parte”.

Sulla base del testo in tal modo correttamente ristabilito ed interpretato, possiamo ora completare l'analisi del funzionamento dell'ariete. Per cogliere appieno l'impiego operativo del mezzo, conviene prendere in considerazione il ricorso ad un secondo punto di attacco della trave (fig. 4) previsto, ma non spiegato, anche da Whitehead nella sua ricostruzione grafica²⁰. L'utilizzo della seconda corda, che dobbiamo ovviamente immaginare della stessa lunghezza della prima, sembra probabile perché adempirebbe due importanti funzioni. Da un lato rappresenterebbe un riferimento empirico (che eviterebbe cioè un calcolo a priori delle coppie, di cui abbiamo detto sopra), utile a riequilibrare il sistema: la seconda corda entra infatti in trazione nell'esatto momento in cui l'ariete è di nuovo orizzontale e rappresenta la spia che è stata aggiunta sufficiente massa-peso. In secondo luogo permetterebbe alla trave, una volta ribilanciata, di oscillare mantenendo costante la posizione orizzontale (concetto di 'quadrilatero articolato', fig. 5)²¹.

Osservando ancora il sistema ariete dall'ottica delle proprietà fisico-meccaniche fin qui discusse, non sfugge che questo appare accostabile ad un altro strumento ben noto e diffuso nell'Antichità, cioè la bilancia: anche questa è infatti provvista di un fulcro centrale, che separa il giogo orizzontale in due segmenti, o bracci.

Il confronto qui prospettato trova una sua naturale legittimazione nel fatto che un paragone diretto tra ariete e bilancia è stabilito già nelle fonti antiche, e principalmente dalla coppia costituita da Ateneo Meccanico (righe 78-83 ed. GATTO

block at the end of the slider, and several in the other pulley-block in the case at the rear end, by the axle”.

¹⁹ MARSDEN 1971, p. 25 interpreta: “to the male dove-tail under the end of the slider itself, at its rear, we fix a horizontal bar”.

²⁰ WHITEHEAD 2010, p. 142 fig. 4 e LENDLE 1975, p. 120. Poco più sotto dei passi finora esaminati troviamo in effetti qualche ulteriore puntualizzazione di Apollodoro sulla necessità di ricorrere a due (o tre) punti di sospensione: cfr. 159, 12 $\delta\upsilon\sigma\iota$ καὶ τρισὶν ἀρτήμασιν αἰρέσθω. Questo accorgimento vale anche per arieti composti da una sola trave: 161, 6 s. $\Delta\epsilon\iota$ δὲ πάντα τοὺς κριούς, καὶ τοὺς μονοξύλους, $\delta\upsilon\sigma\iota$ ν ἀρτήμασι κρατεῖσθαι. Si tratta però di materiale che Whitehead e Blyth sono concordi nel reputare aggiunto da mani successive, per cui basti qui rimandare alle note di commento in WHITEHEAD 2010, p. 104 s. Vd. GATTO 2010, pp. 412-414 per un confronto con l'ariete sorretto da più pendagli disegnato da Egetore.

²¹ La presenza di più corde di sostegno ci viene testimoniata nella pratica dal tipo di ariete ricordato da Flav. Jos. *bel. jud.* 3, 215, su cui torneremo *infra* (si tratta nel frangente di una macchina con la canonica sospensione centrale).

2010) e Vitruvio 10, 13, 2²². Il primo così narra l'ingegno che avrebbe dimostrato un certo Pefrasmeno di Tiro, cui si dovrebbe l'invenzione dell'ariete sospeso²³:

Ὅθεν συνιδῶν τὸ γινόμενον, Τύριός τις ναυπηγός, ᾧ ὄνομα ἦν Πεφρασμένος, ἐν τῇ πολιορκίᾳ ἦν ἐποιοῦντο μετὰ ταῦτα πρὸς τὴν τῶν Παδειριτῶν πόλιν, ἰστὸν στήσας καὶ ἄλλον ἀπ' αὐτοῦ πλάγιον ἀρτήσας παραπλησίως ταῖς τῶν ζυγῶν φάλαγξιν, ἔτυπτε τὸ τεῖχος ἔλκων ἐξ ἀντισπάστου τὸν πλάγιον.

Da qui, un costruttore di navi di Tiro, di nome Pefrasmeno, che aveva compreso quanto era accaduto, in un successivo assedio contro la città dei Gadiriti, preso un palo ed appesone un altro trasversale rispetto ad esso in modo simile ai bracci delle bilance, tirando il palo trasverso per mezzo di una carrucola semplice, colpiva il muro²⁴.

Ricevuta dunque convalida proprio dagli antichi autori, possiamo verificare che l'analisi del comportamento di certe bilance si rivela molto produttivo al fine di comprendere meglio le caratteristiche dell'arma di Apollodoro. A tale proposito è bene spostare l'attenzione sui *Mechanika* (opera che figura nel *Corpus Aristotelicum*, nella quale vari dispositivi di varia natura vengono studiati a seconda delle loro proprietà geometrico-meccaniche), poiché tra i vari modelli di bilancia ivi enucleati uno in particolare esibisce stringenti analogie con quanto si legge in Apollodoro sull'ariete. L'estensore del trattato avverte su come certi strumenti si prestassero ad essere manipolati a scopo di lucro, proprio a causa delle loro caratteristiche fisiche:

καὶ διὰ τοῦτο τεχνάζουσιν οἱ ἀλουργοὶ πρὸς τὸ παρακρούεσθαι ἰστάντες, τό τε σπάρτον οὐκ ἐν μέσῳ τιθέντες, καὶ μόλυβδον τῆς φάλαγγος εἰς θάτερον μέρος ἐγγέοντες, ἢ τοῦ ξύλου τὸ πρὸς τὴν ρίζαν πρὸς ὃ βούλονται ῥέπειν ποιοῦντες, ἢ ἐὰν ἔχη ὄζον· βαρύτερον γὰρ ἐν ᾧ μέρος ἢ ρίζα τοῦ ξύλου ἐστίν, ὃ δὲ ὄζος ρίζα τίς ἐστίν (849 b, 34- 850 a, 2)²⁵.

Per questo i venditori di porpora escogitano dei trucchi per imbrogliare quando pesano: mettono la corda fuori centro, versano piombo in un braccio della bilancia, oppure usano il legno che è vicino alla

²² Sul rapporto tra i due e la fonte comune Agesistrato rimando a GATTO 2010, pp. 53-80, con bibliografia (da cui sono tratti anche il seguente testo e traduzione).

²³ Sull'episodio e sul generale contesto del racconto, con rimandi anche al corrispondente passo vitruviano vd. WHITEHEAD/BLYTH 2004, p. 78 ss. e di nuovo GATTO 2010, pp. 323-327.

²⁴ Una testimonianza non priva di significato, soprattutto perché comprova quanto le interrelazioni tra gli strumenti in gioco fossero patrimonio comune tra gli Antichi è offerta anche dal già ricordato Flav. Jos. *bel. iud.* 3, 214-215, che sull'ariete afferma: ὃ δ' ἐστὶν ὑπερμεγέθης δοκὸς ἰστῶ νεῶς παραπλήσιος· ἐστόμωται δὲ παχεῖ σιδήρῳ κατ' ἄκρον εἰς κριοῦ προτομήν, ἀφ' οὗ καὶ καλεῖται, τετυπωμένῳ. καταιωρεῖται δὲ κάλοις μέσος ὡσπερ ἀπὸ πλάστιγγος ἐτέρας δοκοῦ, σταυροῖς ἐκατέρωθεν ἐδραίοις ὑπεστηριγμένης. "Questo consiste in una trave di smisurata grandezza, simile a un albero di nave; alla punta è rinforzato da una gran massa di ferro a forma di testa d'ariete, da cui prende il nome. Per mezzo di funi è sospeso nel punto centrale, come l'asta di una bilancia, ad un'altra trave sorretta alle due estremità da cavalletti di sostegno". Testo e traduzione da VITUCCI 2009¹⁰, p. 518 s. (cui si rinvia anche per brevi note di commento). Il punto chiave del paragone risiede nel vocabolo πλάστιγγς, tecnicismo designante classicamente il piatto della bilancia e, per estensione, l'intero strumento.

²⁵ Testo e traduzione, qui e dei passi successivi, sono tratti da FERRINI 2010, p. 176 s. (p. 276 s. per il commento). Sulla stessa opera vd. anche BOTTECCHIA DEHÒ 2000, con relative note *ad loc.* Nel presente contributo si accoglie la tesi dell'afferenza dell'opera alla scuola aristotelica, ma non va ignorata la problematica diatriba sorta in merito alla sua attribuzione, per cui rimando soprattutto a BOTTECCHIA DEHÒ 2000, pp. 27-51 e FERRINI 2010, pp. 11-16.

radice o nodoso, per la parte verso cui vogliono che il braccio inclini. Fanno così perché presso la radice il legno è più pesante, e il nodo è una sorta di radice.

I commercianti di porpora che usavano intervenire sul fulcro delle bilance, oppure sui bracci, versando piombo o selezionando con cura i legni per la presenza di nodi e radici, non facevano altro che corrompere in modo controllato il naturale equilibrio meccanico che regola lo strumento, con un procedimento affine a quello previsto in Apollodoro per sbilanciare l'ariete.

Un'ulteriore considerazione merita anche il passo in 848 b, 1-5 dello stesso scritto del *Corpus Aristotelicum*, in quanto qui, col ricondurre il sistema bilancia alla figura del cerchio e postulando che il punto del raggio più distante dal centro traccia un arco più ampio rispetto ad uno più vicino (in altre parole il raggio più lungo traccia una circonferenza più grande), pur mosso dalla stessa 'forza' (ἰσχύς), si dimostra in termini teorici anche per l'ariete come sia più vantaggioso disporre pesi nel punto più lontano dal pendaglio al fine di sbilanciare il sistema in modo efficace²⁶:

Πρῶτον μὲν οὖν τὰ συμβαίνοντα περὶ τὸν ζυγὸν ἀπορεῖται, διὰ τίνα αἰτίαν ἀκριβέστερά ἐστι τὰ ζυγὰ τὰ μείζω τῶν ἐλαττόνων. τούτου δὲ ἀρχή, διὰ τί ποτε ἐν τῷ κύκλῳ ἢ πλεῖον ἀφεστηκυῖα γραμμὴ τοῦ κέντρου τῆς ἐγγύς τῆ αὐτῆ ἰσχύϊ κινουμένης θᾶττον φέρεται τῆς ἐλάττονος;²⁷

Ciò che accade nel caso della bilancia pone il primo quesito: per quale motivo le bilance grandi sono più precise di quelle piccole? Alla base c'è una domanda: perché mai nel cerchio la parte di raggio più lunga e lontana dal centro si muove più velocemente di quella più corta, vicina al centro, anche se è messa in movimento dalla stessa forza?

Poco più avanti si dimostra che al concetto di forza/ἰσχύς può essere sovrapposto quello di peso/βάρος, (come spiega già FERRINI 2010, p. 275 n. 116 e p. 281 n. 137, sulla leva), trattandosi appunto di una forza che provoca lo spostamento del braccio della bilancia (ma le medesime riflessioni si possono facilmente estendere anche all'ariete).

ἀπὸ οὖν τοῦ αὐτοῦ βάρους ἀνάγκη θᾶττον κινεῖσθαι τὸ ἄκρον τῆς πλάστιγγος, ὅσω ἂν πλεῖον ἀπέχη τοῦ σπάρτου, καὶ ἔνια μὲν μὴ δῆλα εἶναι ἐν τοῖς μικροῖς ζυγοῖς πρὸς τὴν αἰσθησιν ἐπιτιθέμενα βάρη, ἐν δὲ τοῖς μεγάλοις δῆλα (849 b, 24-28).

La parte estrema della bilancia deve quindi muoversi più velocemente, sotto lo stesso peso, quanto più è distante dalla corda. Ancora, in alcuni casi non sarà percepibile l'aggiunta di pesi nelle bilance piccole, mentre sarà evidente nelle grandi²⁸.

Mi fermerei qui con l'analisi dei vari passi e la comparazione con i *Poliorketika*. Il valore della testimonianza (pseudo-)aristotelica non deve infatti essere sopravvalutato, perlomeno dal punto di vista della *Quellenforschung*, in quanto non sussiste concreta

²⁶ Da un punto di vista fisico-matematico tutto quanto attiene agli strumenti qui studiati (come anche ad altri contemplati nei *Mechanika*) è ricondotto al principio dei cerchi concentrici, su cui vd., oltre alle edizioni citate, anche KRAFFT 1970, pp. 20-48.

²⁷ Riproduco qui soltanto l'assunto di partenza, sviluppato nei paragrafi seguenti. Vd. le note di commento in FERRINI 2010, p. 259 ss.

²⁸ Proprio dal ragionamento intorno al rapporto tra forza/peso scaturisce il passaggio logico che sposta l'attenzione dalla dimensione puramente geometrica del cerchio a quella concreta di un oggetto reale come la bilancia, con l'aneddoto di 849b sopra citato. Un'estesa esposizione dei concetti citati, in combinazione anche con ῥοπή, come compagno nel trattato (pseudo-)aristotelico si trova in KRAFFT 1970, pp. 48-78 e FERRINI 2010, p. 238 ss.

possibilità, allo stato attuale delle conoscenze, di additare in quest'ultima un modello o perlomeno un precedente cui Apollodoro si sarebbe in qualche modo rifatto²⁹. I *Mechanika* ci offrono però due importanti informazioni, seppur contraddittorie: da una parte veniamo edotti sul fatto che il procedimento di intervenire sull'equilibrio di uno strumento di uso comune come la bilancia era ben noto nella prassi, dall'altra abbiamo la prova che esisteva già ben prima dei *Poliorketika* una speculazione teorica sui principi regolanti tali macchine, sulla base della quale sarebbe stato possibile, ad un ingegnere esperto della disciplina come Apollodoro, ricavare eventuali ragguagli utili a manipolare la natura di un congegno come l'ariete.

Sembra allora legittimo domandarsi attraverso quali canali Apollodoro abbia desunto lo spunto per le sue osservazioni: dalla pratica esperienza, acquisita magari sui campi di battaglia al seguito degli eserciti imperiali, o dallo studio di saggi di meccanica? Il problema non sembra di facile soluzione e forse lo stesso quesito, se posto in termini troppo netti, può rivelarsi ozioso. Al di là dell'approccio che si preferisce adottare, non va trascurata un'affermazione programmatica, apposta da Apollodoro non a caso come un'icona in sede incipitaria e forse destinata a rimanere per noi enigmatica, ma che sembra inquadrare apertamente l'opera in una tradizione di studi e ricerche sulla meccanica.

Ἐὰν δὲ τι ἐν τοῖς ἐπὶ ἑκάστου συστήματος ἐπιλογισμοῖς ἀσαφῶς εἶπω, σύγγνωθι, δέσποτα. Καὶ γὰρ τὰ ὀνόματα τῆς ἐπιστήμης ἀσυνήθη ἔσται τοῖς κοινοῖς λόγοις, καὶ ποικίλην θεωρίαν ἔχει τὸ ἔργον, καὶ αὐτὸς ἐγὼ εἶπεῖν τάχα ἀσθενέστερος (138, 13-16).

Perdonami tuttavia, Sire, se nella descrizione delle singole opere dico qualcosa di non chiaro. I termini adottati in questa disciplina sono, infatti, estranei al linguaggio comune e la materia richiede un'esposizione complicata³⁰; io stesso poi sono probabilmente alquanto maldestro nell'esprimermi efficacemente.

Il preciso e certo non casuale ricorso a termini quali ὀνόματα, ἐπιστήμη e θεωρία rinvia con ogni evidenza ad una speculazione teorica articolata e all'uso di un registro tecnico, di cui però evidentemente, almeno per ora, non siamo in grado di cogliere la portata e originalità³¹.

²⁹ Non è peraltro d'ausilio per un confronto la già notata locuzione aristotelica οὐκ ἐν μέσῳ τιθέντες (849 b, 36), designante l'operazione di spostamento del punto di aggancio, suggerita anche da Apollodoro per l'ariete, ma con una diversa terminologia. Dobbiamo comunque tenere presente che la critica appoggia con una certa decisione la conoscenza e l'utilizzo dei *Mechanika* da parte almeno di Vitruvio ed Erone, autori, soprattutto il secondo, cronologicamente prossimi ad Apollodoro. Vd. in proposito BOTTECCHIA DEHÒ 2000, p. 7 ss., cui si rinvia per ulteriori riferimenti bibliografici. Brevi cenni sui principi fisici qui sviscerati con riferimento ad Erone e altri propone MARTINES 1999, p. 97.

³⁰ Più efficace l'interpretazione che del sintagma propone WHITEHEAD 2010, p. 37: "complex theory".

³¹ Sulla ποικίλη θεωρία così puntualizza WHITEHEAD 2010, p. 73 piuttosto nettamente nel suo commento *ad loc.*: "very little of this, in fact, will expressly appear".

Bibliografia

- BLYTH 1992 = P. H. Blyth, *Apollodorus of Damascus and the Poliorcetica*, «GRBS» 33, 1992, pp. 127-158
- BOTTECCHIA DEHÒ 2000 = M. E. Bottecchia Dehò, *Aristotele. Problemi meccanici*, Catanzaro 2000.
- CAMPBELL/DELFF 2003 = D. B. Campbell/B. Delf, *Greek and Roman Siege Machinery 399 BC-AD 363*, Oxford 2003.
- CAMPBELL/HOOK 2005 = D. B. Campbell/A. Hook, *Siege Warfare in the Roman World 146 BC-AD 378*, Oxford 2005.
- COMMARE 1999a = G. Commare, *La Poliorcetica di Apollodoro di Damasco*, in A. La Regina (ed.), *L'arte dell'assedio di Apollodoro di Damasco*, Milano 1999, pp. 18-77.
- COMMARE 1999b = G. Commare, *Apollodoro, autore della Poliorcetica*, in A. La Regina (ed.), *L'arte dell'assedio di Apollodoro di Damasco*, Milano 1999, pp. 83-84.
- FERRINI 2010 = M. F. Ferrini, [*Aristotele*] *Meccanica*, Milano 2010.
- FIORUCCI 2012 = F. Fiorucci, Rec. D. Whitehead, *Apollodorus Mechanicus, Siegematters* (Πολιορκητικά). *Translated with Introduction and Commentary*, Stuttgart 2010, «Anzeiger für die Altertumswissenschaft» 65, 2012, pp. 102-108.
- GARLAN 1974 = Y. Garlan, *Recherches de poliorcétique grecque*, Paris 1974.
- GATTO 2010 = M. Gatto, *ΠΕΡΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ di Ateneo Meccanico. Edizione critica, traduzione, commento e note*, Roma 2010.
- KERN 1999 = P. B. Kern, *Ancient Siege Warfare*, Bloomington 1999.
- KRAFFT 1970 = F. Krafft, *Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik*, Wiesbaden 1970.
- LAMMERT 1938 = F. Lammert, *Zu den Poliorketikern Apollodoros und Athenaios und zur Poliorketik des Vitruvius*, «RhM» 87, 1938, pp. 304-333.
- LENDLE 1975 = O. Lendle, *Schildkröten. Antike Kriegsmaschinen in poliorketischen Texten*, Wiesbaden 1975.
- MARSDEN 1971 = E. W. Marsden, *Greek and Roman Artillery. Technical Treatises*, Oxford 1971.
- MARTINES 1999 = G. Martines, *Note di tecnica su Apollodoro*, in A. La Regina (ed.), *L'arte dell'assedio di Apollodoro di Damasco*, Milano 1999, pp. 91-105.
- NOSSOV 2005 = K. Nossov, *Ancient and Medieval Siege Weapons. A Fully Illustrated Guide to Siege Weapons and Tactics*, Guilford 2005.
- RIDLEY 1989 = R. T. Ridley, *The Fate of an Architect: Apollodoros of Damascus*, «Athenaeum» 67, 1989, pp. 551-565.
- SAEZ ABAD 2005 = R. Sáez Abad, *El ariete: la más antigua de las máquinas de asedio*, «Akros» 4, 2005, pp. 27-32.

- SCHNEIDER 1908 = R. Schneider, *Griechische Poliorketiker*, «Abhandlungen der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen» 10, 1908, pp. 1-65.
- SMYTH 1984³ = H. W. Smyth, *Greek Grammar*, Oxford 1984³.
- STROBEL 2010 = K. Strobel, *Kaiser Traian. Eine Epoche der Weltgeschichte*, Regensburg 2010.
- SULLIVAN 2000 = D. F. Sullivan, *Siegecraft. Two Tenth-Century Instructional Manuals by "Heron of Byzantium"*, Washington, D.C. 2000.
- VITUCCI 2009¹⁰ = G. Vitucci, *Flavio Giuseppe. La guerra giudaica, Volume I (Libri I-III)*, Milano 2009¹⁰.
- WESCHER 1867 = C. Wescher, *Poliorcétique des Grecs. Traités théoriques – Récits historiques*, Paris 1867.
- WHITEHEAD 2010 = D. Whitehead, *Apollodorus Mechanicus, Siege-matters* (Πολιορκετικά). *Translated with Introduction and Commentary*, Stuttgart 2010.
- WHITEHEAD/BLYTH 2004 = D. Whitehead/P. H. Blyth, *Athenaeus Mechanicus, On Machines* (Περὶ μηχανημάτων), Stuttgart 2004.

Contatti:

Dr. Francesco Fiorucci

Email: francesco.fiorucci@altphil.uni-freiburg.de

Figure

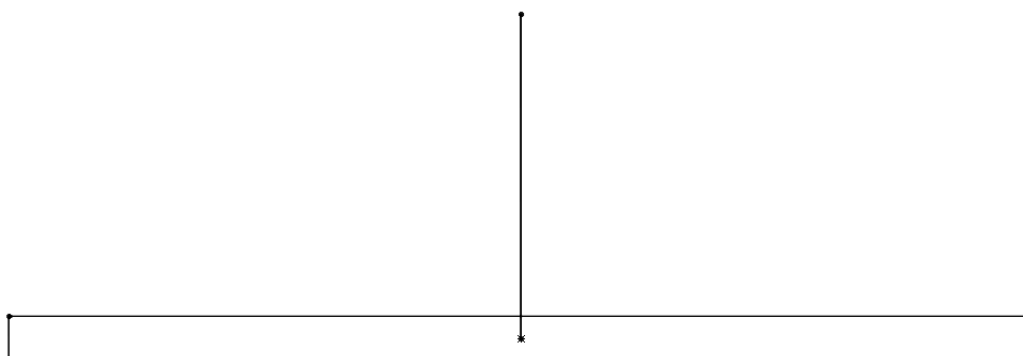


Figura 1: trave in equilibrio

Il principio fisico che sta dietro ad un colpo di un ariete che riesce a ‘rompere’ il suo bersaglio riguarda la conservazione di energia e di quantità di moto. L’energia cinetica della trave in movimento, nell’urto, si trasforma in energia di deformazione del corpo colpito, ed eventualmente in energia cinetica dei frammenti che riescono a staccarsi. L’energia cinetica di un corpo è definita come $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$, dove m è la massa del corpo in movimento e v la sua velocità. Maggiore sarà l’energia cinetica dell’ariete nel momento dell’urto, maggiore sarà il danno procurato. Per aumentare il valore dell’energia si può o aumentare la massa del corpo, oppure la sua velocità. Nel primo caso, se si raddoppia la massa, si raddoppia il valore dell’energia, mentre nel secondo, se si raddoppiasse la velocità, l’energia si quadruplica, avendo una dipendenza quadratica dalla stessa. L’ariete, data la sua struttura composta da una trave mobile appesa ad una struttura rigida tramite una corda o simili, può essere modellato con un pendolo semplice. Considerando l’ariete fermo, qualora il punto di attacco sia nel baricentro della trave, questa si troverà in equilibrio, quindi tenderà a rimanere orizzontale (nell’ipotesi di assenza di attriti di rotazione). Nel caso in cui la trave sia a sezione costante e di materiale omogeneo, l’asse di rotazione, e quindi il punto di aggancio, passerà per il centro. Inoltre c’è da dire che per massimizzare l’effetto del colpo, l’ariete avrebbe dovuto colpire le mura trovandosi in posizione orizzontale, in modo da minimizzare la componente verticale della forza.

Da un punto di vista fisico, qualora la trave sia in equilibrio, non significa che le masse a destra e a sinistra del punto di aggancio sono uguali, quanto che le coppie (o momenti) generate dalle forze peso a destra e a sinistra sono uguali. Il momento di una forza è definito come il prodotto tra la componente della forza ortogonale al braccio, cioè alla distanza tra il fulcro e il punto di applicazione della forza, e il braccio stesso.

Nel caso della forza peso, essendo una forza distribuita su tutto il volume del corpo, si prende come punto di applicazione della stessa il baricentro della parte della trave in questione. Quindi nel caso della trave di fig. 1, supponendo che la massa di metà trave sia m , la distanza tra il baricentro di metà trave si trovi a distanza d dal centro di rotazione, essendo g l’accelerazione di gravità, si avrà che:

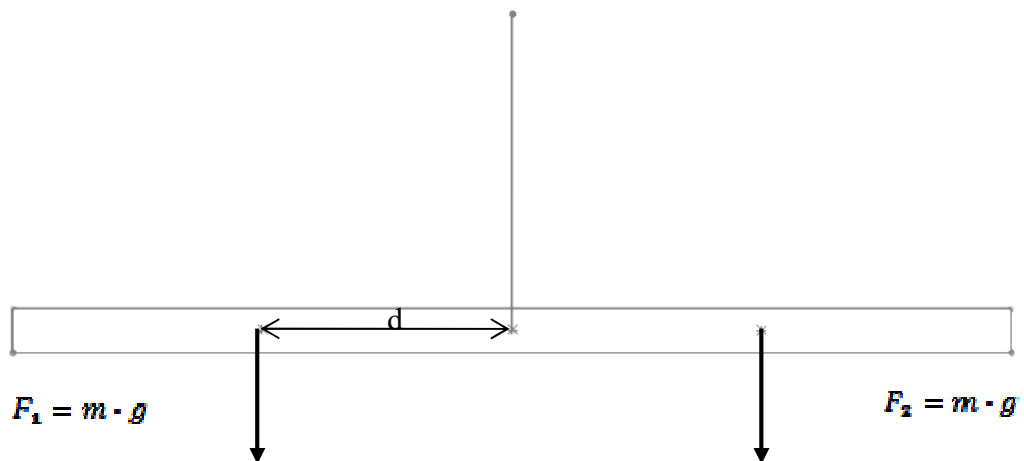


Figura 2

Quindi le due coppie a destra e a sinistra si compensano, essendo uguali le forze e i bracci, e la trave è in equilibrio: $C_1 = m \cdot g \cdot d$ e $C_2 = m \cdot g \cdot d$

Supponiamo ora che il punto di attacco non sia centrale (cioè come prevede Apollodoro). Questo comporterà un non equilibrio della trave che a riposo tenderà ad inclinarsi (ammesso che non tocchi terra assumerebbe una posizione verticale) a causa della non uguaglianza delle coppie.

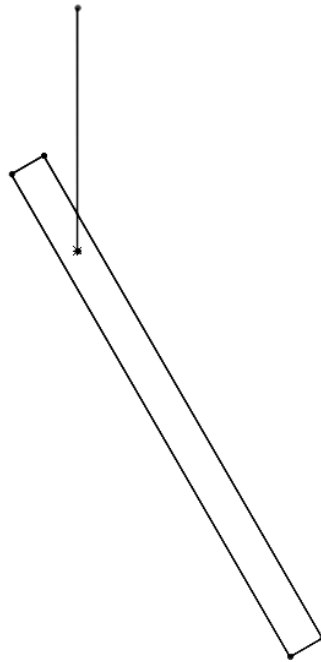


Figura 3: trave non in equilibrio

Infatti, supponendo che la massa a sinistra del punto di rotazione sia m , e quella a destra sia 4 volte, e che il baricentro della parte sinistra sia ad una distanza d dal centro di rotazione e quello a destra sia ad una distanza $4d$, si avrà che i valori delle coppie saranno:

$$C_1 = m \cdot g \cdot d \text{ e } C_2 = 4m \cdot g \cdot 4d = 16 m \cdot g \cdot d$$

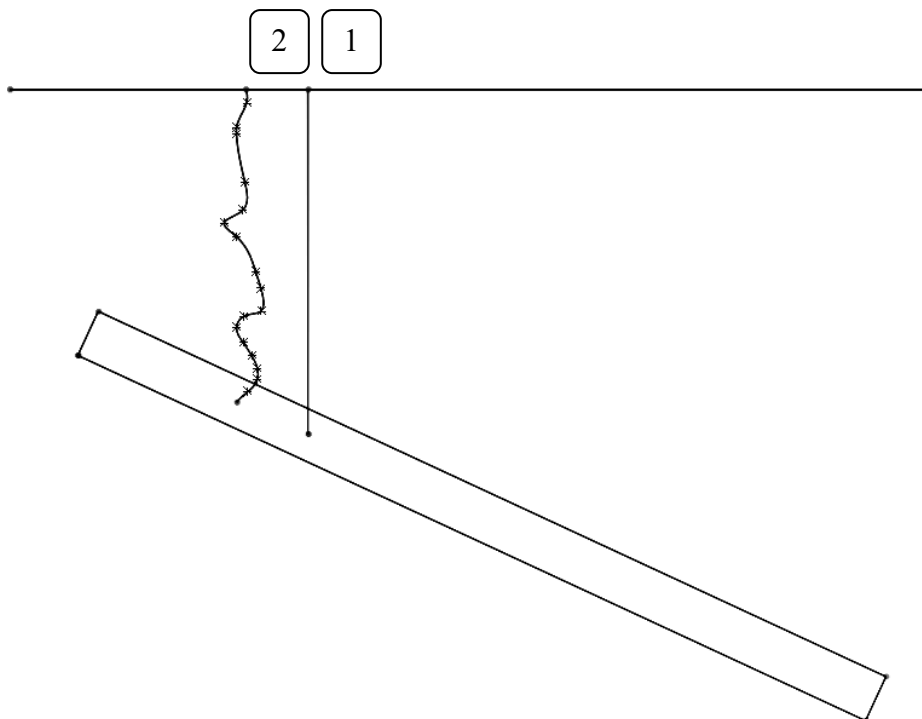


Figura 4: trave con duplice punto di aggancio

Nel caso di una trave non in equilibrio, la seconda corda non lavorerebbe. Infatti la corda 'lavora' solo a trazione, mentre nel caso qui esposto la corda 2 si troverebbe a reagire a compressione. Aggiungendo però massa alla sinistra della corda 2, al fine di riequilibrare il sistema, si arriverebbe al punto in cui, ammettendo che le due corde abbiano la stessa lunghezza, la trave si troverebbe in posizione orizzontale. Infatti il sistema si comporterebbe come un 'quadrilatero articolato' (fig. 5).

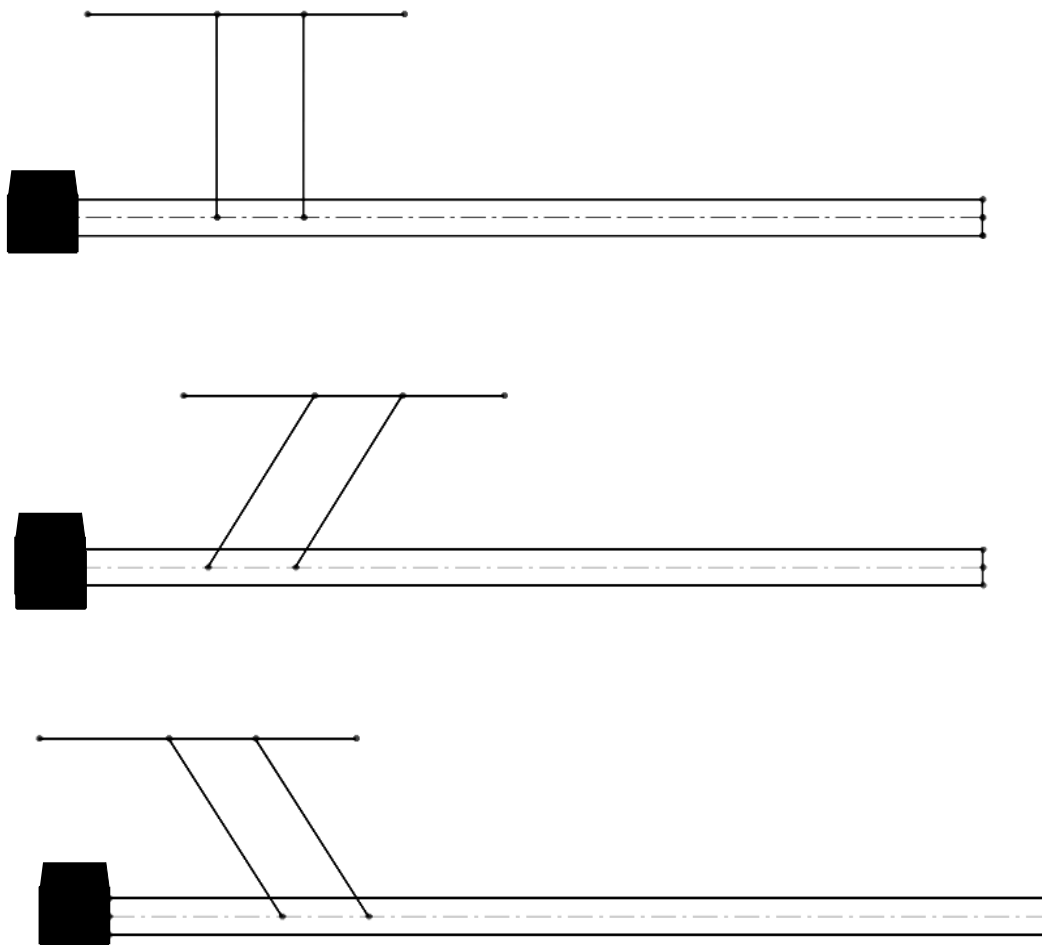


Figura 5: quadrilatero articolato

Il quadrilatero articolato, qualora abbia i lati opposti uguali, formerebbe sempre forme di parallelogrammi, quindi con lati paralleli a due a due. Considerando che il telaio superiore sia orizzontale, così rimarrebbe pure il lato inferiore, cioè la trave.