

Compendio di storia del pensiero balistico

ANTONIO G. CARUSO

1. Definizione preliminare

Prima di iniziare con altre considerazioni, si veda di definire l'oggetto della nostra attenzione. La parola "balistica" compare per la prima volta nel trattato *Ballistica* del padre M. Mersenne (1644) e studia i problemi relativi al moto dei proiettili ed i fenomeni ad esso più strettamente correlati.

2. Alle origini della "Scientia nova"

Il 20 Dicembre 1537 Niccolò Fontana detto Tartaglia firma l'epistola con cui presenta al Duca di Urbino l'opera dove, per primo, egli si è dedicato ad uno studio matematico delle traiettorie dei proiettili lanciati dalle artiglierie (*La nova scientia, cioè inventione nuovamente trovata per ciascuno speculativo matematico bombardiere ed altri*, Venezia 1550). Il contesto storico congiuntamente alle indubbie capacità del matematico che hanno permesso la nascita di questa "*scientia nova*" (così l'autore si riferisce alla balistica) sono stati ben tratteggiati da Morris Kline di cui citiamo il brano: "Tartaglia costituisce il punto di passaggio dal matematico pratico al matematico colto, che sceglie con accortezza dalla conoscenza empirica i problemi e le osservazioni che possono rilevarsi utili. La sua unicità sta in questa realizzazione e nella sua completa indipendenza dalle influenze magiche che caratterizzano l'opera del suo rivale Cardano. La posizione di Tartaglia è a metà strada fra quella di Leonardo e quella di Galileo, e non soltanto per motivi cronologici, ma perché i suoi lavori sulla matematica dei problemi dinamici fecero assurgere questo argomento al rango di nuova scienza e influenzarono i precursori di Galileo. [...] La conseguenza, per quel che riguarda la matematica, fu un'esplosione di attività e di creazioni originali che furono le più prolifiche della sua storia."

Se Tartaglia è il padre della balistica intesa in senso moderno, egli non fu però il primo in assoluto ad occuparsi della dinamica dei proiettili.

Sin da quando un ominide preistorico lanciò una pietra in una data direzione con l'intento di colpire un bersaglio, fallendo ritentò con maggior accortezza il gesto appena compiuto, e ripetendo ancora innumerevoli volte nella sua vita questo esercizio, acquisì una certa abilità, sin da allora, dunque, possiamo dire che è iniziata una ricerca balistica.

Sicuramente lontani dalla consapevolezza galileiana che l'universo è un libro scritto in lingua matematica, e i cui caratteri “sono triangoli, cerchi ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi [...] è un aggirarsi vanamente per oscuro labirinto” [Il Saggiatore] questi studiosi primitivi si accontentavano della poca esperienza sperimentale alla loro portata colmando le restanti lacune con riti propiziatori e formule pseudomagiche. In un *moluodis* (proiettile plumbeo a forma d'uovo che i greci usavano scagliare con le fionde) databile intorno al IV secolo a.C. si legge l'iscrizione “eu skanou” (sistemati bene); ma mentre il povero soldato faceva affidamento sulla volontà del proietto di ubbidire al suo comando nell'area ionica era già nato e stava diffondendosi lo studio della Filosofia.

3. La “*Balistica Classica*”

Giacché la Filosofia si occupa dello studio dell'essere (l'etimo della parola è da solo più che chiarificativo; significando *philos* amico e *sophia* saggezza) gli studi fisici, ma anche geometrici e matematici, di cui si interessò nella classicità apportarono alla storia della balistica non pochi contributi, che ripresi e confutati nei secoli seguenti (importantissima a riguardo l'opera degli scolastici medievali) assunsero un ruolo fondamentale che non può essere dimenticato in questa breve ricerca storica.

I Pitagorici, “avendo poi riconosciuto che le proprietà e le relazioni delle armonie musicali corrispondono a rapporti numerici, e che in altri fenomeni naturali si riscontrano analoghe corrispondenze coi numeri, furono tanto più indotti ad ammettere che i numeri siano gli elementi di tutte le cose esistenti e che tutto il cielo sia proporzione ed armonia” [Aristotele, *Metafisica*]. Di fatto quindi Pitagora (580-500 a.C.) ed i suoi furono i primi ad applicare la matematica allo studio dei fenomeni naturali; ed anche se un loro effettivo contributo alla balistica non risulta, in ragione tra l'altro della segretezza a cui i membri della setta si attenevano, è comunque eccezionale l'introduzione di questo “metodo” nella storia della ricerca scientifica in generale.

La balistica, parimenti ad altre scienze, si è servita, e si serve tuttora, di strumenti presi a prestito da altri settori dello scibile umano (matematica, fisica, ma, anticamente, anche filosofia e teologia); un modello, che oggi, adeguatamente semplificato ⁽¹⁾, viene insegnato nei corsi di fisica per le scuole superiori, propone la traiettoria di un proietto come la parabola descritta, su un piano cartesiano, da un punto che si muove ⁽²⁾ di moto rettilineo uniforme lungo l'asse delle ascisse; e di moto uniformemente accelerato lungo l'asse delle ordinate. La scelta di considerare solamente una parte del corpo in movimento è frutto di considerazioni affatto immediate e scontate. Il punto considerato è il centro di gravità del proietto; capace, da solo, di contenere tutte le caratteristiche del solido. Il problema del baricentro è stato l'oggetto di approfonditi studi, che si po-

trebbero far iniziare con Archimede (287-212 a.C.). Nell'opera "*Dell'equilibrio dei piani o dei centri di gravità dei piani*" il siracusano ha lasciato ai posteri un vero trattato di statica razionale, svolto con metodo strettamente euclideo.

Il baricentro è un concetto limite; un sistema viene riassunto in un suo solo punto; ma di limite in senso moderno è prematuro parlare nel contesto storico ora trattato, sebbene, proprio in Archimede, si possono riconoscere i prodromi dell'opera che, attraverso Bonaventura Cavalieri (1598-1647) porterà Isaac Newton (1647-1727) e Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716) all'introduzione del calcolo integrale.

4. Breve storia ragionata del baricentro

Archimede considerava le figure piane costituite da fili pesanti e paralleli dei quali, poi, studiava meccanicamente l'equilibrio. I risultati che Archimede intuiva empiricamente ricevevano il definitivo rigore con una dimostrazione per esaurione⁽³⁾. Il processo dimostrativo per esaurione viene fatto risalire ad Eudosso di Cnido (400-347 a.C.) ed era basato su un postulato che veniva usato come lemma ed enunciabile nel seguente modo: date due grandezze omogenee, A, B, con $A < B$, esiste un numero naturale n tale che $B/n < A$.

Negli *Elementi* di Euclide (IV-III sec. a.C.) l'enunciato viene formalizzato come segue: Proposizione 1 del X libro degli Elementi. Assumendosi come date due grandezze diseguali, se si sottrae dalla maggiore una grandezza maggiore della metà, dalla parte restante un'altra grandezza maggiore della metà, e così si procede successivamente, rimarrà una grandezza che sarà minore della grandezza minore inizialmente assunta.

L'aspetto fondamentale, metodologicamente parlando, del processo di esaurione è che non ha mai valore euristico; ossia non può essere impiegato per trovare risultati ma solo per confermarne altri già intuiti.

Nel Rinascimento la pubblicazione di edizioni in lingua latina delle opere di Erone ed Archimede stimolò questo tipo di ricerca, in particolare l'edizione di Archimede curata da F. Commandino (1558) che portò a conoscenza dei matematici l'antico metodo di integrazione. Lo stesso Commandino applicò tali metodi al calcolo di centri di gravità (*Liber de Centro gravitatis solidorum* 156-5), anche se con minor rigore del suo maestro. Il calcolo dei baricentri rimase l'argomento prediletto dei seguaci di Archimede, che, attraverso il loro studio della statica guadagnarono una conoscenza dei rudimenti di quello che noi oggi chiamiamo calcolo infinitesimale. L'edizione rinascimentale principale delle opere del siracusano è di Hervagius e vide la luce a Basilea nel 1544. Anche Galileo (1564-1642) si interessò a dette ricerche in un'opera giovanile: *Theoremata circa centrum gravitate solidorum* del 1585. Di spicco in questi anni è la

figura di Luca Valerio (1552-1618) autore dell'opera *De centro gravitate solidorum libri tres* (1604). Concludendo il presente excursus storico, senza appesantire eccessivamente la trattazione, citiamo la disputa tra Cavalieri con il suo metodo degli indivisibili ⁽⁴⁾ e Paolo Guldino (1577-1643) che criticava nella sua *Centrobaryca* (1635-1641) la posizione del milanese.

Da un punto di vista cronologico la palma di scopritore del calcolo infinitesimale spetta a Newton che lavorò sulle flussioni a partire dal 1665; lo scienziato inglese riuscì a portare il calcolo concettualmente a punto ma l'organizzazione e l'ordine propri di un metodo, congiuntamente ad un'adeguata simbologia vennero introdotte da Leibniz.

5. Aristotele e l'ipse dixit

Nella sua *Fisica* Aristotele (384-322 a.C.) elaborò una teoria del moto che costituisce il culmine della meccanica greca. Il grande filosofo distingueva i moti in due tipi: quello naturale e quello violento o causato dall'uomo. Relativamente agli oggetti terreni (escluse quindi le sfere celesti) predicava che ogni corpo possiede un luogo naturale dove si trova in equilibrio ed in stato di quiete e naturalmente tende a raggiungerlo nel tempo più breve possibile (così un corpo pesante, il cui luogo naturale è il centro della terra, se sollevato cadrà con moto rettilineo verticale).

Per quanto riguarda lo studio dei moti violenti, precursore della moderna balistica, lo stagirita li descriveva composti da parti circolari e da parti rettilinee; ogni corpo in movimento era sottoposto ad una forza ed ad una resistenza (nel moto violento la prima è applicata, per esempio, dalla mano del lanciatore e la seconda dal peso del proietto). La velocità di un moto era funzione di forza e resistenza e modernamente si può esprimere $V \propto F/R$. Alcuni problemi nascevano quando si cercava di dare spiegazione a fenomeni particolari quali il progressivo aumento di velocità dei corpi che cadono; ma filosoficamente si rispondeva che il corpo avvicinandosi al suo luogo naturale si muoveva con maggior entusiasmo. Un caso di particolare interesse (si vedranno a proposito le dispute medievali) era quello della freccia scagliata da un arco. Per giustificare il perdurare del moto anche quando la freccia aveva abbandonato l'arco Aristotele dichiarava che la corda dell'arco comunicava un potere di movimento all'aria circostante che, a sua volta, lo trasmetteva alla freccia; contemporaneamente l'aria presente di fronte alla freccia veniva compressa e scorreva intorno ad essa fino a raggiungere il retro per impedire che ivi si formasse un vuoto, così il dardo veniva spinto avanti.

È nota l'influenza che la parola di Aristotele ebbe sulla storia della scienza; chi proponeva ipotesi discordi con il pensiero del *maestro di color che sano* veniva, nella migliore delle ipotesi, confutato con un inappellabile "ipse di-

xit” che facendo pesare tutta l’*autoritas* del filosofo antico non lasciava spazio a repliche ⁽⁵⁾.

6. Il medioevo e la scolastica

Commenti sulle opere di Aristotele apparvero sin dal VI secolo dopo Cristo e riscossero un successo non indifferente. Tra i più importanti si considerino quelli ad opera di Simplicio (lettissimo nell’Europa dei secoli XIII e XIV) e di Giovanni Filopono. Filopono fu più originale e meno incline di Simplicio a seguire Aristotele. Filopono respinse le idee di Aristotele sul moto violento negando che il mezzo fosse responsabile della continuazione del movimento dopo l’impulso iniziale. Egli reputava che come il fuoco immette calore in una barra d’acciaio ed il calore resta nell’acciaio per qualche tempo dopo aver lasciato il fuoco, parimenti un proiettile acquista una sorta di *impeto* che pure si conserva per qualche tempo.

Con la traduzione latina della *Fisica* di Aristotele e del commento di Averroè, gli Scolastici medievali si trovarono a poter disporre sia della “legge” originale deducibile dalle formulazioni aristoteliche sia delle critiche di Filopono. Sotto l’influenza della trattazione di Averroè ci furono molte discussioni su quali fossero i fattori determinanti il movimento, e queste discussioni ebbero grande importanza nel preparare la distinzione definitiva elaborata da Occam tra gli aspetti cinematici e dinamici del movimento. Ma l’esposizione matematica della legge introdotta dagli arabi non subì importanti modifiche fino al *Tractatus de proportionibus* di Bradwardine del 1328. Bradwardine tentò di riconciliare quelli che credeva fossero due fatti certi: 1) nessun moto ha luogo quando la forza è uguale, o minore, alla resistenza; 2) i fattori di forza e resistenza che determinano la velocità si trovano tra loro in “qualche relazione”. Se si assume vera la relazione matematica $V \propto F/R$, che soddisfa il secondo fatto, ci troviamo in contraddizione con il primo. Se infatti $F = R$, V non è uguale a zero come si deduce dal fatto 1), ma è uguale a qualche valore k maggiore di zero. Bradwardine rifiuta anche la possibilità di una semplice relazione aritmetica, quale, ad esempio, quella deducibile da Filopono ossia del tipo $V \propto (F - R)$. Consistendo il problema nel trovare una qualche proporzionalità che conservasse un rapporto tra F ed R , ma che, contemporaneamente, soddisfacesse il fatto che nel caso di uguaglianza tra i due fattori non si produce movimento rispose che “la proporzione delle velocità nei moti segue la proporzione della potenza del motore alla potenza della cosa mossa”. Secondo Bradwardine la velocità cresce aritmeticamente in corrispondenza all’accrescimento geometrico del rapporto della forza alla resistenza, ossia che la relazione da lui stabilita va intesa nel modo seguente:

$$F_2/R_2 = (F_1/R_1)^n; \text{ dove } (F_1/R_1) > 1 \text{ e } n = V_2/V_1$$

La Maier ha sottolineato ⁽⁶⁾ che in termini moderni dovremmo dire che si tratta di una relazione esponenziale, esprimibile come segue:

$$V = \log_a (F/R); \text{ dove } a = F_1/R_1.$$

Una delle critiche principali al modello messo in piedi da Aristotele veniva dal fatto che esso prevedeva, relativamente al moto dei proietti, la presenza *continua* di un motore a contatto con il corpo mosso. Aristotele aggirava l'ostacolo supponendo che il mezzo in cui il corpo si muoveva (ad esempio l'aria) fosse da tramite tra proietto e motore ⁽⁷⁾. Aristotele, comunque sembra escludere la teoria dell'*antiperistasis* cioè la "mutua sostituzione", teoria che egli probabilmente trovò in Platone. Se il movimento dell'aria non muove il proietto, ma piuttosto resiste al suo moto, che cosa causa la continuazione del moto? Secondo la spiegazione di Filopono una forza cinetica incorporea ($\chi\iota\nu\eta\tau\iota\chi\eta\nu \tau\iota\nu \alpha \delta\upsilon\nu\alpha\mu\iota\nu \alpha\sigma\omega\mu\alpha\tau\omicron\nu$) è stata impressa nel corpo (non nel mezzo) e questa forza impressa mantiene il movimento del corpo finché non viene consumata dalla resistenza al movimento presentata dal peso del corpo e, forse, dalla resistenza dell'aria ⁽⁸⁾. Avicenna esordisce presentando quattro opinioni relative alla continuazione del moto dei proietti prima di esporre la sua. Le prime due sono le medesime due teorie aristoteliche che attribuiscono all'aria il mantenimento del moto; la terza predica che il proiciente comunica al proietto una forza o potenza che garantendo il movimento perdura sino a quando non viene superata dalla naturale tendenza del solido a cadere e dalla resistenza del mezzo. La quarta teoria (detta della generazione) considera il movimento come discontinuo od atomico: a momenti di movimento si alternano momenti di quiete e la prosecuzione del moto del proietto da un momento all'altro viene garantita da una propensione al moto che persiste dopo ogni intervallo di quiete e riesce ad avviare un ulteriore movimento.

La quinta teoria di Avicenna (la teoria del *mail*) dice che il moto dei proietti continua in seguito alla presenza nel mobile di un'inclinazione (*mail*) trasferita nel proietto dalla forza del proiciente. Questa inclinazione viene immaginata come resistenza all'arresto del movimento; Avicenna opera una distinzione almeno teorica tra *mail* e forza motrice, poiché il *mail* è lo strumento della forza. Numerosi dotti del Duecento rifiutarono le teorie che attribuivano la continuazione del moto dei proietti a una persistenza della forza comunicata dal proiciente non al mezzo ma al proietto. Ruggero Bacon nelle *Questiones* sulla Fisica aristotelica rifiuta la continuazione o influenza della potenza del proiciente nel proietto, poiché in tal caso non ci sarebbe quel contatto sostanziale di motore e mosso che è necessario nel moto.

Occam argomentò vigorosamente contro la posizione aristotelica sostenendo che non è necessaria una forza deputata a continuare il moto giacché stimava il moto dei proietti semplicemente *secundum se*.

Giovanni Buridano fu il principale esponente della nuova dinamica dell'*impetus* all'università di Parigi dove è segnalata la sua presenza nel periodo tra il 1328-1358. I punti principali della sua teoria sono:

1) l'impeto impartito dal proicente al proietto varia, da un lato, a seconda della velocità del proietto, e dall'altro a seconda della quantità di materia del corpo in movimento;

2) come Avicenna, Buridano concepì il suo *impetus* simile ad una quantità permanente (benché distruttibile da agenti contrari) e, conseguentemente non si consuma semplicemente perché separato dall'origine del movimento, ma deve essere superato dalla resistenza dell'aria e dall'inclinazione del corpo a cadere.

3) la caratteristica di permanenza del suo *impetus* permise a Buridano di giustificare l'eternità del moto dei cieli mediante l'imposizione divina di un *impetus* all'epoca della creazione del mondo.⁽⁹⁾

7. Leonardo da Vinci

Leonardo (1452-1519) non è soltanto pittore ma scultore, architetto e scienziato⁽¹⁰⁾; era, d'altronde, ammissibile esercitare la pittura od un'altra arte e mantenersi estranei alla scienza? In Leonardo è il rifiuto dello spazio indefinito, proprio della mentalità medievale, e diventa prioritaria l'esigenza di trovarsi in uno spazio razionale definito dalla prospettiva, determinabile matematicamente (*"Chi mette in dubbio la suprema certezza della matematica si nutre di confusione e non potrà mai mettere a tacere le contraddizioni delle scienze sofistiche che conducono ad eterni schiamazzi [...] perché nessuna ricerca umana può essere chiamata scienza se non persegue la sua meta mediante l'esposizione e la dimostrazione matematica"*).

Uno dei problemi maggiori cui va incontro chi decide di dedicarsi ad un attento studio su Leonardo è di tipo filologico. I suoi lavori presentano quasi sempre un carattere provvisorio, come se fossero in attesa di una stesura coerente e organica che manca in tutti i testi pervenuti. Gli scritti vinciani entrano nella storia quando Luca Pacioli (1445-1515), scrivendo la dedicatoria del proprio *De divina proportione* (Venezia 1509), datata 9 Febbraio 1498, afferma che l'illustre scienziato ha appena concluso il *"Libro de pictura et movimenti umani"* e sta per terminarne un altro *"inextimabile"*, *"del moto locale"*; da allora le opere leonardesche sono state protagoniste di alterne vicende che hanno contribuito a creare il mito dell'autore. Leonardo, però, non è il genio tutt'fare declamato da certa storiografia tardo ottocentesca e dalla propaganda del *"genio italico"*, avviata con l'esposizione leonardesca di Milano del 1939; più recentemente, inoltre, ha contribuito alla sua mitizzazione il confezionamento di un'immagine commerciale che ha riscosso un indiscusso successo tra il grosso pubblico.

Relativamente all'oggetto di queste pagine ricordiamo che il moto dei proiettili cominciò a ricevere attenzione sin dalla fine del XIII secolo, quando macchine belliche innovative iniziarono ad assumere un peso sempre più consistente negli esiti delle battaglie e che Leonardo, come Stevin, Galileo e Descartes riprese l'idea di Giordano Nemorario il quale aveva dimostrato che la forza a cui è sottoposto un corpo lanciato in linea retta può in ogni momento essere scomposta in due componenti: la gravità naturale che agisce verso il basso e una forza "violenta" orizzontale. Il poliedrico autore non poteva resistere al fascino della scienza militare tanto da scrivere nella lettera con la quale chiedeva di essere accettato nella corte di Ludovico il Moro: "[...] Ho ancora modi de bombarde commodissime & facile ad portare, et cum quelle buttare minuti (saxi a similitudine) di tempesta; [...] et quando accadesse essere in mare, ho modi de molti instrumenti actissimi da offender & defender, [...] item, occurrendo di bisogno, farò bombarde, mortari et passavolanti di bellissime & utile forme, fora del comune uso. Dove mancassi la operazione de le bombarde, componerò briccole, mangani, trabucchi & altri instrumenti di mirabile efficacia, & fora dell'usato; et insomma, secondo la varietà dei casi, componerò varie & infinite cose da offender & difendere [...]".

In effetti si deve riconoscere a Leonardo una certa capacità di anticipare scoperte che vennero definitivamente accettate solo dopo la sua morte: nel Codice Atlantico (f.9r.-b; f.26v.-b) si trovano disegni di cannoni con particolari accorgimenti per l'alzo quando l'importanza della diversa inclinazione delle bocche da fuoco fu teorizzata per primo da Tartaglia nel libro già citato e, quindi, dopo la scomparsa del vinciano. Molti disegni sono dedicati a studi e progetti per proiettili da utilizzarsi nelle artiglierie. Assieme ad una serie di pallottole esplosive (Cod. Atl. F.9v.-a) attirano la nostra attenzione gli studi di balistica, finalizzati alla precisione del tiro, affrontando i quali intuisce, con l'aiuto dell'esperienza dei getti d'acqua, l'influenza dell'aria ⁽¹¹⁾ sulla traiettoria delle palle di cannone e risolve il problema ideando proiettili ogivali che sfruttano la forma aerodinamica e le alette direzionali delle quali sono corredati (cod. Arundel f.54r.). Egli ricavò dall'osservazione una curva parabolica che anticipava gli studi sul principio di inerzia di Galileo e Newton.

Gli studi militari dell'artista rinascimentale sono, invero, molto vasti; senza deviare la nostra attenzione dall'argomento prepostoci scorrendo di aspetti indubbiamente interessanti ma estranei alla balistica in quanto tale citeremo brevemente: balestre a tiro rapido, balestre giganti, catapulte ad argano, fionde centrifughe, macchine per profilare segmenti di cannone, l'architronico (cannone a vapore che dice aver ripreso da Archimede) e mitragliatrici.

Dopo la lunga attività svolta a Milano presso Ludovico il Moro, la fama di Leonardo come inventore di macchine belliche si era radicata al punto da giu-

stificare la decisione di Cesare Borgia che nel 1502 volle assumerlo come architetto ed ingegnere militare.

8. Nicolò Tartaglia

Sul ruolo chiave del matematico bresciano (1499-1577) si è già accennato nel secondo paragrafo; qui si vedrà di riassumere le idee fondamentali deducibili dalla sua opera.

L'opera (in tutto sessantaquattro pagine) è divisa in tre libri ed organizzata in definizioni, supposizioni, proposizioni e corollari.

Riportiamo, per cominciare, la prima definizione del primo libro che riveste un'importanza fondamentale sia per comprendere il pensiero balistico dell'autore sia nell'economia dell'opera intera.

Diffinitione prima. Corpo egualmente grave è detto quello che secondo la gravità della materia, & la figura di quella è atto a non patire sensibilmente la opposition di l'aere in alcun suo moto.

Nella spiegazione che segue la definizione il matematico spiega come, effettivamente, la forma che meglio si presta ad attraversare il fluido aria sia *la forma Cunea, over Pyramide* ma a patto che il vertice, ossia la parte acuminata, rimanga sempre orientata in modo da fendere l'aria durante il suo moto; essendo questa condizione non sempre verificata (in quanto in volo il proietto può essere soggetto a ribaltamenti) segue che “[...] *poremo la figura over forma spherica senz'altra conditione esser la più atta a patir meno la detta oppositione de l'aere in ogni specie di moto di qual si voglia altra forma per esser più agile al moto da tutte le bande, & egualmente grave de qual si voglia altra.*”

Si può già notare un sostanziale passo indietro rispetto all'innovativa idea leonardesca del proietto ogivale capace di stabilizzarsi tramite alette⁽¹²⁾.

La definizione sesta e la settima descrivono le due forme di moto già incontrate in Aristotele: il naturale ed il violento senza novità degne di nota.

Per le opinioni sugli effetti della forza di gravità riportiamo la proposizione prima del primo libro:

Propositione. Prima. Ogni corpo egualmente grave nel moto naturale quanto piu (sic) el se andara allontanando dal suo principio, over appropinquando al suo fine tanto piu andara veloce.

La prima affermazione che teoricamente descrive il moto del proietto si

trova nella terza proposizione del primo libro:

Propositione. iii. Quanto piu un corpo egualmente grave se andara luntanando dal suo principio, over propinquando al suo fine nel moto violente tanto piu andara pigro e tardo.

Continua quindi con la quarta proposizione predicando che finito il moto violento i proietti seguiranno le regole del moto naturale.

Termina il primo libro, dedicato ad un approccio teorico alla balistica, con la quinta proposizione che completa anche la descrizione del moto dei proiettili:

Propositione. v. Niun corpo egualmente grave, puo andare per alcun spacio di tempo, over di luoco, di moto naturale, violente insieme misto.

É alla luce di questo enunciato (si noti come, prendendo questa posizione, Tartaglia dimostra di non conoscere o non condividere la linea seguita da Leonardo [cfr. paragrafo 7]) che finalmente possiamo identificare la traiettoria immaginata dal matematico come composta in una prima parte (quella soggetta al moto violento) da un segmento di retta e la seconda (quella soggetta al moto naturale) formata da un secondo segmento, ortogonale alla linea dell'orizzonte, e da un arco di circonferenza che raccorda il primo tratto con l'ultimo. La conferma di quanto trovato alla fine del primo libro è nella supposizione terza del secondo libro:

Suppositione. iii. Ogni corpo egualmente grave, in fine de ogni moto violente: che sia fuor della ppendicolare (sic) di l'orizzonte si movera di moto naturale, il qual sara contingente con la pte (sic) curva dil moto violente.

Il libro secondo si chiude con una casistica di traiettorie abbondantemente argomentate e chiarificate con frequenti disegni.

Nell'ultimo libro si insegna a costruire ed adoperare strumenti utili all'artigliere. Già nella epistola introduttiva Tartaglia aveva presentato la sua squadra da artigliere di cui riportiamo la descrizione: “[...] una squadra de alcun metallo over legno sodo che habbia interchiuso un quadrante con lo suo perpendicolo [...]” e con questo strumento: “ponendo poi una parte della gamba maggiore di quella [squadra] ne l'anima over bocca di pezzo distesa rettamente e per il fondo dil vacuo della canna, alzando poi tanto davanti il detto pezzo che il perpendicolo seghi lo lato curvo in due parti uguali. All'hora se dira che il detto pezzo guarda rettamente a 45. gradi sopra al orizzonte”. L'alzo di 45° era stato il risultato di uno studio che mirava a definire l'inclinazione necessaria per otte-

nere la massima gittata possibile.

Il Tartaglia si occupa anche di strumenti idonei a misurare le distanze per poter disporre i pezzi con l'alzo ottimale rispetto alla lontananza del bersaglio.

Concludendo la parte dedicata al bresciano ricordiamo che le sue attitudini agli studi militari si riscontrano anche in un'altra opera: *Quesiti ed inventioni diverse* ... [Venezia, Venturino Ruffinelli, 1546] dove lo studioso di fortificazioni può incontrare interessanti passaggi compendiarî delle idee diffuse all'epoca dell'autore.

9. Galileo Galilei ed il metodo scientifico

La fama di Galilei (1564-1642) si fonda sulla sua opera sia di fisico che di metodologo. Da un punto di vista epistemologico il contributo galileiano è unico nel suo genere. Gli storici della scienza hanno evidenziato due fondamentali indirizzi interpretativi: uno di orientamento empirista o meglio sperimentalista, l'altro di orientamento dichiaratamente platonico. I primi sostengono che Galileo fu l'inventore del metodo sperimentale; i secondi lo credono fondamentalmente un platonico convinto che la matematica (e non l'esperienza) fornisca la prima e principale via per cogliere le leggi più profonde dei fenomeni; l'osservazione dei fatti fornirebbe solamente la conferma della verità essenziale della natura. Comunque la critica erudita voglia riferirsi al pisano resta ferma l'eccezionale importanza della sua figura nel panorama scientifico di tutti i tempi.

Relativamente al ruolo che Galileo assunse nella storia della balistica, si devono focalizzare due momenti distinti della sua vita. Si è già menzionata l'opera giovanile dedicata agli studi sui centri di gravità dei solidi (cfr. paragrafo quarto); risale inoltre al suo soggiorno padovano l'invenzione e la diffusione del compasso geometrico-militare. Esso era un originale tipo di regolo basato sul principio delle grandezze proporzionali che serviva per agevolare i calcoli matematici necessari ad adeguare i tiri delle artiglierie; in realtà non si trattava di una novità in senso assoluto essendo, infatti, da qualche tempo, già in uso presso i matematici contemporanei (uno, ad esempio era stato costruito da Guidobaldo del Monte). Galileo giunse al suo apparecchio per via autonoma verso il 1597 e, inizialmente, si limitò a spiegarne il funzionamento oralmente a quegli allievi che studiavano matematica per intraprendere, in un secondo tempo, indirizzi militari (a questi studenti sono anche rivolte due opere scritte verso il 1593-1594: la *Breve introduzione all'architettura militare* ed il *Trattato di fortificazione*).

Nel 1606 lo scienziato decise di dedicare un libro al suo apparecchio (*Le operazioni del compasso geometrico militare*) ma, giacché tale pubblicazione ebbe il risultato di metterlo in vista presso il governo di Venezia, tanto da otte-

nere il rinnovo del contratto con un cospicuo aumento di stipendio, sul medesimo apparecchio uscì un libello di Baldassarre Capra (*Usus et fabrica circini cuiusdam proportionis*) dove il Capra rivendicava a sé ed al proprio maestro la paternità della scoperta. Visto il palese tentativo di screditare Galileo, Baldassarre Capra fu attaccato dal Nostro che ottenne da parte dei Riformatori dello Studio padovano la pubblica condanna del calunniatore.

Appartiene all'ultimo periodo della vita dell'autore ⁽¹³⁾, quello detto del ritorno alla scienza pura, la pubblicazione dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* [Leida 1638]. Nei *Discorsi* Galileo mirava a condurre a termine e far stampare quel nuovo dialogo "intorno ai moti locali, naturale e violento" che aveva preannunziato nella chiusa del *Dialogo sopra i due massimi sistemi*. Il libro è diviso in giornate e strutturato in forma dialogica dove si confrontano Simplicio (rappresentante il filosofo aristotelico, difensore del sapere costituito dalla tradizione), Salviati (lo scienziato copernicano cauto ma risoluto, paziente e tenace) e Sagredo (rappresentante il pubblico aperto alle novità, ma che vuol conoscere le ragioni dell'una e dell'altra parte) ⁽¹⁴⁾.

La quarta giornata è quella che maggiormente interessa l'opologo per le spiegazioni che ivi si danno del moto dei proietti; riportiamo il commento che fa a riguardo Ludovico Geymonat: "La quarta giornata è dedicata allo studio, ampio e approfondito, della traiettoria percorsa dai proiettili, studio che risulta fondato sul celebre principio di composizione dei movimenti (già visto in Leonardo, ma vacante in Tartaglia n.d.a.). Anche a proposito di questa giornata, dobbiamo ricordare che la trattazione viene svolta [...] in forma deduttiva, cioè a partire da proposizioni generali accettate per ipotesi (*ex suppositione*) e non ricavate dall'esperienza; a quest'ultima si riserva soltanto il compito di controllare le conseguenze, precedentemente dimostrate per via teorica. Va inoltre segnalato il vero e proprio "coraggio metodologico", dimostrato da Galileo, nel comporre due moti di tipo pressoché antitetico, quale il moto "naturale" della caduta dei gravi, e quello "violento" dovuto allo scoppio delle polveri del cannone: la fisica aristotelica non avrebbe mai permesso di unire, nella trattazione scientifica, due concetti tanto diversi.

Il risultato più importante della giornata è costituito dalla dimostrazione che l'anzidetta traiettoria possiede una forma parabolica: esso permette a Galileo di risolvere molti problemi pratici, quello per esempio di calcolare l'inclinazione del cannone atta a produrre la massima gittata (risultato peraltro già ottenuto da Tartaglia n.d.a.)."

Galileo prepara anche una tabella "*complectentem altitudines earundem semiparabolarum proiectorum ab eodem impetu*".

Amplitudines semiparabolarum ab eodem impetu descriptorum

Gr.		Gr.		Gr.		Gr.		
45	10000		60	8659	30	75	5000	15
46	9994	44	61	8481	29	76	4694	14
47	9976	43	62	8290	28	77	4383	13
48	9945	42	63	8090	27	78	4067	12
49	9902	41	64	7880	26	79	3746	11
50	9848	40	65	7660	25	80	3420	10
51	9782	39	66	7431	24	81	3090	9
52	9704	38	67	7191	23	82	2756	8
53	9612	37	68	6944	22	83	2419	7
54	9511	36	69	6692	21	84	2079	6
55	9396	35	70	6428	20	85	1736	5
56	9272	34	71	6157	19	86	1391	4
57	9136	33	72	5878	18	87	1044	3
58	8989	32	73	5592	17	88	698	2
59	8829	31	74	5300	16	89	349	1

Con Galilei si arriva a teorizzare un modello balistico equivalente a quello tuttora usato per descrivere il fenomeno nel vuoto (cfr. nota 1 del paragrafo terzo); la traiettoria dei proietti ha definitivamente assunto la forma di parabola ora spetta a Newton perfezionare il risultato, peraltro notevole, ottenuto con più di venti secoli di ricerca.

10. Isaac Newton: “*hypotheses non fingo*”

“ [...] e non invento ipotesi; e infatti tutto ciò che non si deduce dai fenomeni, deve essere chiamato ipotesi; e le ipotesi, sia metafisiche che fisiche, sia di qualità occulte sia meccaniche, non hanno nessun posto nella filosofia sperimentale. In tale filosofia proposizioni particolari sono dedotte dai fenomeni, e successivamente rese generali per induzione.”

L’opera di Newton (1642-1727) è, come comune all’epoca, una commistione di filosofia, ontologia in senso stretto, fisica e matematica.

Per quanto riguarda la balistica a Newton si deve la scoperta grazie alla quale la traiettoria di un proietto può essere descritta come una curva formata da due rami di parabola di cui quello ascendente è maggiore di quello discendente.

Riassumendo: la traiettoria reale differisce da quella parabolica nel vuoto, a causa della resistenza opposta all’avanzamento del proietto dall’aria.

Per poter quindi calcolare gli elementi della traiettoria reale, dopo aver studiato quella che ha luogo nel vuoto ⁽¹⁵⁾ occorre conoscere con una certa precisione gli effetti della resistenza dell'aria. La soluzione fu enunciata appunto da Newton, il quale predicò che le molecole dell'aria, urtate da un corpo in movimento, assumono a loro volta un moto in direzione perpendicolare a quella dell'elemento di superficie del corpo con velocità uguale alla componente della velocità del corpo nella stessa direzione.

Le molecole fluide acquistano quindi una certa forza viva, che viene sottratta all'energia cinetica del corpo in movimento. Lo spostamento delle molecole risulta effetto dell'applicazione di una forza detta ritardatrice in ragion del fatto che si oppone all'avanzamento del corpo. Se è ω l'area di un elemento della superficie del proietto, β l'angolo che esso fa con la direzione della velocità v che anima il proietto in un istante qualsiasi, Δ il peso di un metro cubo d'aria, g al solito l'accelerazione gravitazionale, la teoria di Newton dà la forza ritardatrice come segue:

$$C = \Delta\omega (v^2 \cos^2\beta) / 2g$$

Non essendo piana la superficie del proietto, il valore di $\cos^2\beta$ non è una costante; ma per semplicità si può assumere il valore medio, che chiameremo i (coefficiente di forma); allora essendo ω funzione del diametro o calibro del proietto (che è sempre un solido di rivoluzione) potremo scrivere:

$$C = (\Delta/g) \alpha^2 i v^2$$

Da questa relazione si deducono le leggi della resistenza dell'aria secondo Newton:

- 1) la resistenza dell'aria è proporzionale al quadrato della velocità;
- 2) è proporzionale alla densità dell'aria;
- 3) è proporzionale al quadrato del calibro;
- 4) è proporzionale ad un coefficiente che dipende dalla forma del proietto.

La teoria di Newton aderisce bene alla realtà del fenomeno solo finché il valore della velocità non è molto elevato, cioè non supera i 240 metri al secondo. Per velocità superiori contribuiscono ad influenzare il proietto fenomeni trascurati dallo schema semplificato di Newton: moti vorticosi dell'aria, onde di compressione e rarefazione, attriti, riscaldamenti eccetera; da cui non si può prescindere, ma che, d'altra parte, condurrebbero a grandissime difficoltà matematiche e sperimentali se si volesse darne l'espressione razionale e completa ⁽¹⁶⁾.

Il contributo newtoniano alla scienza è forse l'esempio più lampante di quel fenomeno epistemologico che è la "sedimentazione" della cultura scientifi-

ca. Il termine preso a prestito dalla geologia, esprime perfettamente quel processo di stratificazione che coinvolge le scoperte fatte nell'ambito di una ricerca. Le tre leggi del moto formulate dall'inglese non sono mai state smentite ma partendo da esse, e su esse, si è continuato a costruire il castello della fisica che, sebbene innalzato con il lavoro delle generazioni successive e l'introduzione di nuovi potentissimi strumenti di ricerca quale la fisica quantistica non può prescindere dalle fondamenta che sostengono l'enorme edificio nella sua continua crescita.

11. Panorama storico e fermenti scientifici

Lo scopo del presente paragrafo è duplice: contestualizzare il processo scientifico nel proprio momento storico e cercare di inquadrare sinteticamente il particolarissimo fenomeno culturale che si diffuse nell'Europa del settecento⁽¹⁷⁾.

Per introdurre questo formidabile secolo riportiamo le parole di Adriano Augusto Michieli: "Il secolo XVIII fu il secolo dell'enciclopedismo e quello nel quale, come non mai, i letterati trattarono di scienza e gli scienziati di letteratura, occupandosi di tutto un po'".

Una delle dispute che occupò maggiormente gli scienziati del seicento e del settecento fu quella relativa alle cosiddette *forze vive*. In ragione dell'obiettivo interesse che la controversia può suscitare nella storiografia scientifica e del rapporto di stretta correlazione in cui essa è con gli studi di cui ci stiamo occupando, è bene riassumerla brevemente nelle sue linee fondamentali.

Il termine venne coniato da Leibniz (1646-1716) ed ha il suo corrispondente moderno nell'energia cinetica. Secondo Cartesio (1596-1650) un corpo in movimento compirebbe lavoro a spese della propria quantità di moto (massa moltiplicata per la velocità); per confutare questa teoria Leibniz pubblica un articolo (*Brevis demonstratio erroris Cartesii, et aliorum circa legem naturalem, secundum quam volunt a Deo eandem semper quantitatem motus conservari; qua et in re mechanica abuntur*) dove, per sconfessare Cartesio, argomenta la propria posizione introducendo la nuova "*vis motrix*" che sostituisce la quantità di moto predicata dal francese nel ruolo di serbatoio energetico a spese del quale un corpo compie lavoro; la grandezza fisica viene pensata proporzionale al quadrato della velocità del corpo preso in esame. Notevole è, a riguardo, la figura di Gian Maria Ciassi (1654-1679) che nel *Tractatus Physicomathematicus* del 1677 precede di ben nove anni la pubblicazione negli *Acta Eruditorum Lipsiae* (1686) dove si trova la succitata memoria di Leibniz.

Il trevisano non può aspirare ad ottenere la palma di primo solutore consapevole ed esauriente del problema delle forze vive ma l'importanza delle sue osservazioni se relazionate a quelle di Gottfried Wilhelm, viene confermata

quando confrontiamo un suo passo con quello omologo dell'autore teutonico:

“Suppongo che sia necessario altrettanto lavoro per sollevare un corpo del peso di una libbra ad un'altezza di quattro braccia, di quanto ne serva per sollevare un corpo di quattro libbre ad un'altezza di un braccio.” [Leibniz]

“Un corpo pesante un'oncia, posto con un altro in questo movimento alternato, se sollevato a quattro pollici richiede tanto lavoro quanto un corpo pesante quattro once sollevato ad un pollice.” [Ciassi]

Il veneto è inoltre ricordato per l'intuizione che ebbe del lavoro come oggi viene fisicamente espresso: si trova, infatti, in un passo relativo alla meccanica delle carrucole che una “*vis*” in grado di “*percorrere*” un dato segmento⁽¹⁸⁾.

Quello appena presentato non è propriamente un argomento balistico, ma appartiene a quell'insieme di nozioni che la balistica usa come strumenti di lavoro; la fisica e la matematica sono i maggiori aiuti che l'opologo ha a sua disposizione e, sebbene non intimamente legato alle teorie sui moti dei proietti, questo bagaglio culturale è condizione non sufficiente ma assolutamente necessaria. Un altro esempio di appartenente a questa categoria di “ricerche collaterali” è la statistica il cui contributo si rivela indispensabile nella scienza sperimentale. Il diffondersi del calcolo delle probabilità è una logica conseguenza della tendenza illuministica di filtrare attraverso la razionalizzazione matematica tutto ciò che destava interesse (ad esempio sia Eulero (1707-1783) che d'Alembert (1717-1783) si sono occupati di questioni come la speranza di vita o vita media di un uomo, i giochi d'azzardo ed altri aspetti delle scienze sociali).

Laplace (1749-1827) può essere considerato il primo studioso di probabilità in senso moderno; effettivamente interessato ad ogni cosa che potesse servire ad interpretare la natura, nel 1812 scrisse *Théorie analytique des probabilités*. L'introduzione alla seconda edizione (1814), inoltre, come ci ricorda il Kline, è costituita da un saggio popolare noto come *Essai philosophique sur les probabilités* che contiene un famoso passo compendiario dell'importanza attribuita a questa forma di ricerca, dove si afferma che il futuro del mondo è completamente determinato dal suo passato e che chiunque possiede la conoscenza matematica dello stato del mondo in qualsiasi istante è in grado di predirne il futuro⁽¹⁹⁾.

Tra i molti matematici che si occuparono di statistica ci fu anche Joseph Louis Lagrange (1736-1813), ma il “successore di Eulero” viene ricordato dallo studioso di storia militare soprattutto per il suo ruolo di professore alla Scuola di Artiglieria di Torino che coprì dal 1755 quando era appena diciannovenne. Questo introduce un aspetto nuovo nello sviluppo storico degli studi balistici: le scuole militari.

Per suffragare l'importanza di questo tipo di accademie vedremo il caso di quella torinese. Effettivamente in Piemonte la comunità scientifica era fortemente legata all'ambiente della scuola per artiglieri che si sarebbe dimostrata capace di tracciare percorsi del tutto imprevisi stante il clima di censura che regnava onde evitare eventuali compromissioni sul difficile piano politico. Nel 1748, ad esempio, Carlo Emanuele III chiamava il padre somasco Giambattista Beccaria come insegnante di fisica; questi aveva per allievi nel 1751 Gianfrancesco Cigna, medico poi di fama internazionale, e l'anno successivo, Lagrange e, nuovamente un'artigliere, Angelo Saluzzo di Monesiglio. Era certo imprevedibile che quei due diversi lignaggi di studiosi si sarebbero poi potuti incontrare. E invece l'elettricismo del Beccaria si sarebbe trasmesso fra gli interessi fondamentali dei suoi discepoli; e questi, a loro volta, avrebbero trovato proprio nelle Scuole Teoriche e Pratiche di Artiglieria l'unico laboratorio dove poter applicare le loro cognizioni teoriche, affiancandosi a quanti già stavano lavorando per affinare teorie ed esperienze sui processi chimico-fisici inerenti la combustione delle polveri. Orbitava dunque attorno all'artiglieria sabauda un cenacolo di dotti che nel 1757 ebbe una delle sue date fondamentali. Godendo per l'appunto del sia pur cauto appoggio del sovrano, quegli studiosi ottennero il permesso di costituirsi in Società Privata Torinese e di riunirsi settimanalmente a palazzo San Germano, abitazione del Saluzzo, con gli studiosi di altre discipline che potevano condividere con loro l'interesse di un confronto fra scienziati. Insieme agli artiglieri si trovavano, oltre al Cigna ed al Lagrange, chirurghi come Ambrogio Bertrandi e Michele Antonio Piazza, botanici e naturalisti come Giambattista Gaber e Carlo Allioni; si veniva così delineando il primo avamposto scientifico piemontese capace di trafiggere le maglie strette dell'oscurantismo e di mettersi in comunicazione con i centri di irradiazione della nuova cultura scientifica e filosofica europea.

La "*Miscellanea Philosophico-Mathematica Societatis Privatae Taurinensis*" dal 1759, anno di diffusione del suo primo tomo, divenne lo strumento di relazioni sempre più intense e ramificate con le istituzioni scientifiche europee. Nel numero del 1765 il D'Antoni pubblicava un *Esame della polvere*; Lagrange presentava le *Recherches sur la méthode de maximis et minimis* ed altre *Recherches sur la nature et la propagation du son*; Cigna proponeva una *De Analogia magnetismi et electricitatis dissertio* assieme ad un breve saggio (*De colore sanguinis experimenta nonnulla*); Gaber il suo *Specimen experimentorum circa putrefactionem humorum animalium*; Allioni recensiva gli studi del Piazza, Bertrandi disquisiva sul sistema ghiandolare, il Daviet de Foncenex sulle "*quantités imaginaires*".

Dopo aver dimostrato ancora una volta come partendo da studi strettamente balistici sia possibile ricavare spunti d'interessi diversi, concludiamo questo paragrafo facendo menzione di alcuni degli strumenti che corredevano il

bagaglio degli artiglieri.

Dai tempi di Tartaglia e Galileo ebbero una diffusione straordinaria i mezzi atti a misurazioni e rilievi: nel catalogo della mostra “Palmanova Fortezza d’Europa 1593-1993” si trovano illustrati alcuni esempi particolarmente notevoli della categoria; tra questi: una bussola da rilievi (proveniente dalle collezioni mediche ora si può ammirare a Firenze all’Istituto e Museo di Storia della Scienza), un compasso di riduzione a tre gambe (firmato Georg Zorn, Augsburg, 1618; è strutturato con due aste pieghevoli che permettono ad un cursore di scorrere lungo la gamba centrale quando si muovono le gambe laterali) ed un compasso firmato Lorenzo Batecin (del secolo XVI, è munito di bussola bilingua e di orologio solare equinoziale, le gambe presentano fori per il traguardo delle altezze ed il suo uso, prettamente militare, permetteva la misurazione del calibro di proiettili).

Chiude la rassegna il più singolare dei cimeli esposti: uno stile sagomato da bombardiere; il pugnale risale al XVII secolo ed è conservato al Museo Storico Nazionale d’Artiglieria di Torino, la sua particolarità risiede nella lama a sezione triangolare che riporta su uno dei piatti tacche e numeri da 1 a 120; dato l’interesse del pezzo riportiamo un estratto dalla didascalia dedicatagli: “Di questi stili (detti anche “Fusetti” o “Centoventi” n.d.a.), che sono insieme arma e strumento da bombardiere, il Museo Nazionale Storico d’Artiglieria ne conserva ben sei esemplari con lame che vanno da 15 a 35 cm circa. Angelucci fa notare che questi strumenti fanno parte del corredo da bombardiere [...]. La ragione della presenza dello stilo doveva essere ben più valida [di quella sostenuta dal Boccia che credeva servissero da “promemoria” dei calibri] [...]; può darsi benissimo che esso fosse lo *stile che serve per adescare i pezzi* citato dal Chincherni nel 1641 [...]. Secondo un manuale secentesco, tra gli strumenti del bombardiere erano, anzi due stili che tra l’altro, piantati verticalmente in un asse a distanza stabilita, formavano una sorta di calibro rudimentale per la scelta delle palle adatte ad un determinato pezzo.”

12. Un illustre sconosciuto: Benjamin Robins

Benjamin Robins (1707-1751) è quasi sicuramente il più grande studioso di balistica del suo secolo, ma, ciononostante la letteratura del settore non dimostra di interessarsi al suo nome se non si considerano sporadiche citazioni affatto adeguate alla mole di lavoro del Nostro. Le ricerche di Robins sono principalmente legate alla rigatura delle canne ed all’invenzione del pendolo balistico. Riservandoci di riprendere presto la trattazione di questi due aspetti principali dedichiamoci brevemente a quelli minori dell’inglese. Il Kline lo ricorda in due occasioni: la prima, di carattere più strettamente matematico, lo vede impegnato in tentativi d’introdurre il rigore nel calcolo infinitesimale mentre la seconda è poco più di un accenno limitandosi a dire che Eulero per

studiare il moto dei proiettili su domanda del re di Prussia fece uso dell'opera di Robins. Si ha un po' più di fortuna se si consultano testi in lingua inglese; in quelli considerati per la stesura di queste pagine scopriamo: esperimenti sulle forme dei proiettili (che la fonte stessa conferma ispirati a Leonardo), la dimostrazione sperimentale che la resistenza aerodinamica induce il proiettile a decelerare circa ottanta volte di più dell'accelerazione gravitazionale, la consapevolezza (confermata da una più accurata sperimentazione) che la legge di Newton non si verifica per velocità superiori a 900 ft/sec, la misurazione correttamente eseguita di velocità sino a 520 m/s e il suo ruolo nel riammodernamento dell'armamento inglese dove ad esempio volle introdurre la caronata ⁽²⁰⁾.

Abbiamo avuto modo di constatare con questa breve rassegna il ruolo importantissimo assunto dalla sperimentazione, ma cosa permetteva allo studioso settecentesco di calcolare con trascurabile margine d'errore velocità superiori a 1870 Km/h? Questo risultato eclatante era stato reso possibile dall'introduzione del pendolo balistico. Il modello primitivo consisteva in una capra portante un pendolo la cui massa era formata da un piano di legno rinforzato con lamiera in ferro. Contro la massa urtava il proiettile, a piccola distanza dalla bocca; allora la massa era respinta ed il pendolo compiva oscillazioni. L'ampiezza della prima oscillazione era misurata per mezzo di un nastro svolgibile fissato alla massa. Dalla lunghezza della corda dell'arco relativo alla prima oscillazione, si poteva dedurre la velocità con la quale il proiettile aveva colpito il pendolo, conoscendo la lunghezza, la massa del proiettile ecc ⁽²¹⁾.

Il vero centro degli interessi di Robins, l'autentico leitmotiv della sua ricerca è lo studio sull'importanza della rigatura. Henry Wilkinson nel suo *Observations (theoretical and practical) on Muskets, Rifles and Projectiles* del 1852 riportò, come introduzione al primo capitolo, le parole usate da Robins nel *New Principle of Gunnery* del 1742: "Whatever state shall thoroughly comprehend the nature and advantages of rifled barrel pieces, and, having facilitated and completed their construction, shall introduce into their armies their general use, with a dexterity in the management of them, they will by this means acquire a superiority which will almost equal anything that has been done at any time by the particular excellence of any one kind of arms." (traducibile con: "Qualunque stato comprenda appieno la natura ed i vantaggi delle canne rigate, e, avendo avvantaggiato e completato la loro costruzione introduca il loro uso generalizzato nei propri eserciti con una destrezza nel loro maneggio, grazie a questi mezzi, acquisterà una superiorità all'incirca uguale a qualsiasi altra raggiunta in ogni tempo per mezzo della particolare eccellenza di ogni genere d'arma.").

Nonostante l'appello di Robins, che venne poi ripetuto nel 1747 davanti

alla Royal Society, l'introduzione dell'anima rigata non convinse le ottuse gerarchie militari che inspiegabilmente non vollero approfittare dell'applicazione marziale che lo sviluppo tecnologico offriva, questo atteggiamento, probabilmente, contribuì a velare i brillanti risultati del balistico con una fitta coltre di nebbia che ancora oggi risulta difficile penetrare e per colpa della quale siamo qui costretti a concludere il paragrafo dedicatogli.

13. La rigatura nel suo sviluppo storico

Premettiamo alla trattazione storica alcune definizioni utili al neofita per la comprensione del paragrafo. Dicesi *rigatura* l'insieme dei solchi solitamente ad andamento elicoidale, *riga* o *cavo* è il solco mentre il *pieno* è la nervatura risultante fra due solchi ⁽²²⁾; il *passo* è la distanza misurata su di una generatrice fra due punti dove la rigatura incontra la generatrice stessa ⁽²³⁾.

Il più antico documento che cita l'uso della rigatura sulle armi da fuoco risale al 28 luglio del 1476 (“[...] *item sclopetus unus, ferri factus a lumaga [...]*”) e si tratta di un inventario redatto nella torre di Guastalda che venne riportato alla luce verso la metà del secolo scorso da Angelo Angelucci.

L'uso di solcare l'anima delle canne è molto antico ma in un primo momento i solchi erano ad andamento rettilineo dalla culatta alla volata. La loro funzione era duplice: permettere alle fecce ed a residui incombusti della polvere nera di disporsi tra i vuoti senza ostacolare la corsa del proietto e forzare il medesimo, che veniva appositamente scelto di diametro leggermente superiore al calibro della canna misurabile tra i pieni, per impedire che i gas in espansione dopo la combustione della polvere lo scavalcassero vanificando in parte la loro azione propulsiva.

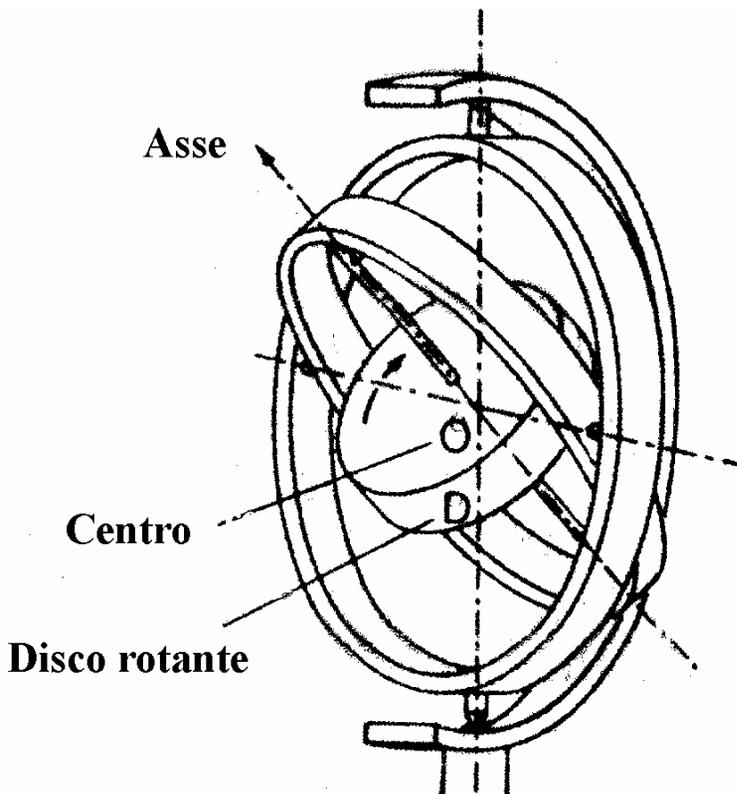
Non è ben noto come si sia pervenuti alla rigatura elicoidale, ma è opinione diffusa stimare che sia stata introdotta nell'area germanica (verso la fine del XV secolo) dove riscosse un grande successo venatorio tanto da rendere noti a livello mondiale gli Jäger per la loro proverbiale precisione.

Interessante, a riguardo, citare una delle spiegazioni, che allora tendevano a giustificare l'efficienza della rigatura, secondo la quale “*vero è che i demoni assolutamente non possono cavalcare sulle sfere rotanti tranne, ohimè, in quelle imprevedibili occasioni in cui si possono cavalcare esseri capricciosi solo sulle sfere rotanti*”.

Si veda ora di capire quali sono gli effettivi vantaggi che la rigatura elicoidale apporta alla precisione del tiro. L'effetto principale è la stabilizzazione di quel proietto nel quale i punti di applicazione delle forze di inerzia e peso e delle forze aerodinamiche non coincidono e quindi generano dei momenti stabilizzanti o ribaltanti a seconda che il centro di spinta aerodinamica si trovi dietro o davanti al baricentro. I primi sono detti proietti naturalmente stabili mentre i

secondi naturalmente instabili e devono essere stabilizzati con mezzi giroscopici. Il problema era stato già intuito da Tartaglia (cfr. paragrafo ottavo) che pur riconoscendo i proiettili di forma lunga ed appuntita i più idonei ad attraversare il fluido aria, si vede costretto ad optare per proiettili sferici che non influenzano la traiettoria con eventuali ribaltamenti.

Si è poco sopra accennato che una possibile soluzione è imprimere al corpo un moto uguale a quello di un giroscopio. Il termine è stato coniato dal fisico francese L. Foucault nel 1852 ed indica un solido il cui ellissoide centrale d'inerzia è tondo. Nel giroscopio di Foucault il disco omogeneo e massiccio è calettato ortogonalmente nel suo centro ad una barra cilindrica il cui asse è l'asse giroscopico del disco ed i cui estremi sono impegnati in una sospensione car-



Esempio di *Giroscopio di Foucault*

danica collegata ad un supporto fisso in modo da consentire ogni orientamento dell'asse ed ogni moto del disco intorno al suo baricentro; se al disco viene impressa una velocissima rotazione attorno al suo asse (velocità giroscopica) e questo viene puntato verso un riferimento inerziale (per esempio una stella fissa), quel puntamento permane invariato finché dura la rotazione (principio della permanenza degli assi giroscopici). Il moto di rotazione di un solido attorno al suo asse è stato considerato anche da Heinrich Gustav Magnus (1802-1870). In memoria del fisico berlinese è stato battezzato effetto Magnus il fenomeno aerodinamico consistente nel fatto che un cilindro od una sfera, rotanti attorno al proprio asse, se posti in una corrente fluida di direzione normale all'asse stesso vengono sollecitati da una forza normale alla direzione della corrente e all'asse attorno a cui girano (portanza o propulsione).

Storicamente è interessante ricordare che tra i primi a dedicarsi al problema della rigatura nelle artiglierie pesanti c'è un italiano: il generale G. Cavalli. In seguito alle esperienze condotte anche in Svezia (dal 1846 al 1847), egli realizzò un proiettile cilindro-conico munito di quattro robuste costole (od alette) destinate ad impegnarsi in altrettante righe della profondità di circa mm 5. Il primo cannone rigato impegnato in battaglia fu quello francese da quattro libbre che costituì una sorpresa nella campagna del 1859. In Italia il primo impiego risale all'assedio di Gaeta (1860-1861) e si generalizzò dopo questa data.

Concludiamo il paragrafo e con esso il nostro lavoro proponendo al lettore due curiose interpretazioni storiche del concetto di rigatura.

Cronologicamente la prima notevole variante la si trova nel Mauser-Koka M1880; l'arma è caratterizzata da una rigatura progressivamente rastremata (i dati sono: calibro mm 10,15; 4 scanalature profonde mm 0,15 e di larghezza progressivamente diminuita da mm 4,6 a mm 4). L'innovazione è opera di Kosta Milovanovic' Koka generale serbo nato a Belgrado l'otto Giugno del 1847, fu costruttore di talento nel campo delle armi di fanteria e si perfezionò alla Scuola di Ingegneria d'Artiglieria a Berlino; i suoi sforzi per il modello 1880 risultarono più che proficui data la capacità (allora singolare) del fucile di lanciare il proietto ad una velocità di 512 metri al secondo.

Il secondo esempio di ricerca innovativa proviene dall'Italia che nel 1891 adottò il Mannlicher-Carcano meglio noto come modello '91 con canna provvista di rigatura a passo progressivo. Una giustificazione a tale scelta la si trova considerando l'equazione: $R = 1/2 P \Omega \operatorname{tg} \Theta + 1/2 m v^2 (d \operatorname{tg} \Theta) / dx$ dove R è la pressione normale al fianco della riga che viene notevolmente diminuita con una rigatura di tipo progressivo il che, al lato pratico, determina una vita operativa dell'arma più longeva grazie al ridotto logorio.

Riferimenti bibliografici per un ulteriore approfondimento

- AA. VV. (1993), *Palmanova fortezza d'Europa*, Marsilio.
- Bagni, G.T. (1991), *Gian Maria Ciassi fisico trevigiano*, Teorema.
- Bagni, G.T. (1996), *Storia della Matematica*, I-II, Pitagora.
- Clagett, M. (1981), *La Scienza della Meccanica nel Medioevo*, Feltrinelli.
- De Florentis, G. (1987), *Tecnologia delle armi da fuoco portatili*, Hoepli.
- Faldella, E. (1976), *Storia degli Eserciti Italiani*, Bramante Editore.
- Geymonat, L. (1969), *Galileo Galilei*, Einaudi.
- Hall - Boas Hall (1993), *Storia della Scienza*, Il Mulino.
- Kline, M. (1991), *Storia del pensiero matematico*, I-II, Einaudi.
- Leonardo da Vinci (1995), *Trattato della pittura*, Editori Associati.
- Marani, P.C. (1984), *L'architettura fortificata negli studi di Leonardo da Vinci*, Leo S. Olschki Editore.
- Moss - Leening - Farrar (1995), *Military Ballistics*.
- Struik, D.J. (1981), *Matematica: un profilo storico*, Il Mulino.
- Tartaglia, N. (1984), *La Nova Scientia*, ristampa anastatica, Arnaldo Forni Editore.
- Westfall, R.S. (1982), *Newton e la dinamica del XVII secolo*, Il Mulino.
- Wilkinson, H. (1852), *Observations (theoretical and practical) on Muskets, Rifles and Projectiles*.

¹ Vedremo più avanti come questo modello, molto simile a quello introdotto da Galileo, sia vero solo quando il fenomeno si verifica nel vuoto.

² L'atteggiamento di considerare le curve come luogo descritto da un punto in movimento è stato tipico del XVII secolo: così padre Mersenne (cfr. primo paragrafo) definì la cicloide e Galileo la parabola. Nel "Tractatus de quadratura curvarum" Newton scrisse "Io considero qui le quantità matematiche non come costituite da parti molto piccole, ma come descritte da un moto continuo. Le linee sono descritte, e quindi generate, non dalla giustapposizione delle loro parti ma dal moto continuo dei punti [...] Questa genesi ha effettivamente luogo nella natura delle cose e può essere vista quotidianamente nel moto dei corpi."

³ Scrisse A. Frajese "In questo consiste appunto quello che potrebbe essere detto il mistero di Archimede: come giunse egli, per la superficie della sfera, e altre lunghezze, aree e volumi, a conoscere già il risultato prima ancora di iniziare il complesso procedimento dimostrativo?"

⁴ Un primo riferimento a tale metodo può essere scorto nel Codice Atlantico di Leonardo da Vinci (1452-1519).

⁵ Tuttavia, non tutti gli scritti che in età medievale furono attribuiti al filosofo di

Stagira, realmente erano stati frutto del poliedrico autore. È il caso, tra gli altri, del *Problemi meccanici* (circa 287 a.C.) scritto, probabilmente, da Stratone, terzo capo del Liceo. Stratone, che lavorò anche ad Alessandria, scrisse inoltre un trattato *Sul movimento* dove studiò il fatto che la velocità di un corpo che cade aumenta man mano e sembra farlo uniformemente durante la caduta. Nei *Problemi meccanici*, relativamente alla trattazione sul movimento dei proiettili si trova, implicito, un dubbio sulla teoria di Aristotele e l'intuizione che un corpo scagliato deve offrire una resistenza nella direzione in cui viene spinto (tutti questi problemi vennero anche ripresi da Erone di Alessandria (primo secolo a.C.) nella sua *Meccanica* in forma più apertamente matematica).

⁶ A. Maier, *Die vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert*, Roma 1949, p. 92.

⁷ Possiamo attingere queste informazioni nei seguenti passi del libro della *Fisica*: “Ora, i proietti continuano a muoversi, cessato il contatto con ciò che li ha scagliati, o a causa di una mutua sostituzione, come alcuni dicono, o perché l'aria che è stata sospinta spinge con un movimento più veloce del moto con cui l'oggetto che è stato proiettato è trasportato [naturalmente] al proprio luogo.” “Quanto alle cose che si muovono nello spazio, sarà bene, prima di tutto, affrontare una certa difficoltà. Se è vero che tutto ciò che si muove, tranne le cose che si muovono da se stesse, è mosso da qualche cosa, come avviene che alcune cose si muovono di moto continuo, una volta cessato il contatto con il loro motore, come, per esempio, le cose scagliate [i proietti]? Se infatti ciò che ha causato il loro moto mette in moto anche qualcos'altro, come ad esempio l'aria, non è però meno impossibile che essa debba essere in moto quando il motore originario non è più in contatto con essa e non più la muove; tutte le cose [che sono mosse] devono essere mosse e cessare il loro moto insieme, [cessando il loro moto] non appena il primo motore cessa di muovere, anche se, come la calamita al ferro, comunica a ciò che a mosso il potere di causare moto. Dobbiamo dire perciò che il motore originario conferisce il potere di causare moto all'aria [...]. Ma questa cosa non cessa simultaneamente di muovere e di essere mossa, bensì cessa di muoversi nello stesso momento in cui il motore che agisce su di essa cessa di muoverla, conservando però ancora la sua qualità di motore.

⁸ Si trova un commento ad Aristotele, fortemente ispirato al pensiero di Filopono nell'opera del medico e filosofo Ibn Sina *Libro della guarigione dell'anima*.

⁹ Commenta M. Kline “Questa nuova teoria era degna di nota per numerosi motivi. Applicandola sia ai moti celesti che a quelli terrestri, Buridano li riunì in un'unica teoria. Inoltre, questa teoria implicava che, contrariamente alla legge di Aristotele, una forza alternasse il moto invece di mantenerlo sem-

plicemente costante. In terzo luogo, lo stesso concetto di impeto costituiva un grosso passo avanti in quanto trasferiva la forza motrice del mezzo all'oggetto mobile e rendeva perciò possibile la presa in considerazione del vuoto. Buridano è uno dei fondatori della dinamica moderna.”

- ¹⁰ “Si snoda e s'intreccia negli appunti visivi di Leonardo un filo intrigante che, tra ermetismi allegorici e rivelazioni tecniche, tra metafore e forme simboliche, tra intuizioni di meccanica e citazioni tecnologiche e proiezioni mentali, attraversa a livelli di suggestione estrema la sua ricerca cosmologica, fino a tessere una trama sintetica intrisa di arte e scienza, empirismo e filosofia, poesia e metafisica.” (Alessandro Vezzosi).
- ¹¹ Relativamente all'importanza che Leonardo dava, nei suoi studi, all'aria, può essere interessante ricordare l'introduzione, in pittura, della prospettiva aerea. Via via che il soggetto dipinto si allontana dallo spettatore i colori diminuiscono di intensità ed i volumi di precisione perché tra loro e l'osservatore si interpone l'aria in spessore sempre maggiore. Non è da escludere che l'osservazione del pittore sia anche l'intuizione dello scienziato che riconoscendo all'aria un certo “spessore” non tarda a immaginare una sua influenza nel moto dei proietti che l'attraversano.
- ¹² Vedremo come la soluzione al problema della stabilità dei proietti sarà data dall'introduzione della rigatura dell'anima della canna delle armi da fuoco.
- ¹³ Nei primi dieci mesi che seguirono la condanna del giugno del 1633 Galileo compie tenacissimi sforzi per risollevarsi dall'abiezione in cui era caduto. Nel momento in cui sembrava aver superato la prima e più difficile tappa di questo cammino ricade in uno stato di cupa disperazione per la morte prematura della figlia Virginia. Galileo maturava ormai da un certo tempo il progetto di ritornare alla scienza pura, per obliare in essa l'odioso affronto subito e, straordinariamente, gli bastarono poche settimane per ritrovare l'antica serenità e gettarsi al lavoro con rinnovata energia.
- ¹⁴ Gli stessi protagonisti, con il medesimo ruolo, erano già stati presentati da Galileo nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi*.
- ¹⁵ La formula della gittata, facilmente ricavabile è: $X = (V^2 \sin 2\alpha)/g$ essendo X la gittata, V la velocità iniziale, α l'angolo di proiezione e g l'accelerazione gravitazionale; invece, per la traiettoria, prendendo come riferimento una coppia di assi cartesiani; per un proiettile che esce orizzontalmente dalla canna con velocità v, si ottiene una parabola di equazione $y = h - (g/2v^2)x^2$.
- ¹⁶ Oggi sappiamo che la resistenza dell'aria risulta, per velocità superiori a 240 metri al secondo, proporzionale non alla sola seconda potenza della veloci-

tà, ma ad una serie di potenze superiori di questa.

- ¹⁷ Come in qualsiasi lavoro storico che, seriamente sviluppato, mira a trattare un periodo definito non si può né prescindere dai prodromi né dimenticare le conseguenze, il lettore non si stupisca che anche in questo paragrafo formalmente dedicato al secolo dei lumi si dovranno richiamare autori ed opere appartenenti a momenti storici diversi.
- ¹⁸ Per uno studio più approfondito del Ciassi si rimanda a: Giorgio Tomaso Bagni “Gian Maria Ciassi fisico trevigiano”, Treviso 1991 da cui sono ricavate le considerazioni qui esposte.
- ¹⁹ Quanto enunciato sembra parafrasare il principio della ricerca scientifica sperimentale che statisticamente crea un modello matematico con il quale si può “adeguatamente” prevedere lo svolgersi di un fenomeno già studiato precedentemente.
- ²⁰ Pezzo d’artiglieria in ferro più corto e leggero degli ordinari cannoni dello stesso calibro usato su navi quale complemento.
- ²¹ Tale apparecchio è usato ancor oggi con alcune modifiche. La massa è sostenuta da una sospensione a 5 fili metallici sottili, in modo da eliminare oscillazioni complementari e deviazioni. Conosciuti il peso p del proietto, quello P del pendolo, la lunghezza della corda dell’arco di rinculo l e la durata t in secondi di una doppia oscillazione, la velocità d’urto è data dalla formula: $v = l \times ((P+p)/p) \times 2K/t$. Conoscendo invece la lunghezza L del pendolo si può utilizzare la formula: $v = l \times ((P+p)/p) \times \sqrt{g/L}$.
- ²² I pieni hanno due *fianchi* di cui quello su cui si intaglia maggiormente il proietto è detto *direttore* mentre l’altro *controfianco*; il calibro che viene misurato tra i due pieni è detto *calibro balistico* al contrario quello rilevato tra i vuoti viene definito *calibro effettivo*.
- ²³ Esistono alcune interessanti equazioni relative al passo della rigatura. Ad esempio la velocità di rotazione ω di un proiettile che percorre una rigatura di passo P con velocità istantanea di traslazione v è calcolabile ponendo $\omega = 2\pi v / P$ ricordando che con valori di ω troppo bassi la precisione viene a scaderne e con valori troppo alti il proietto tende a disintegrarsi quando esce dalla volata. Certamente più utile è la conoscenza dell’equazione di Greenhill che stabilisce il passo ottimale della rigatura per un proiettile di lunghezza nota: $\text{passo} = 150 / \text{lunghezza proietto}$; il risultato ottenuto è espresso in calibri quindi per convertirlo al sistema metrico decimale basterà moltiplicarlo per il diametro di foratura della canna.