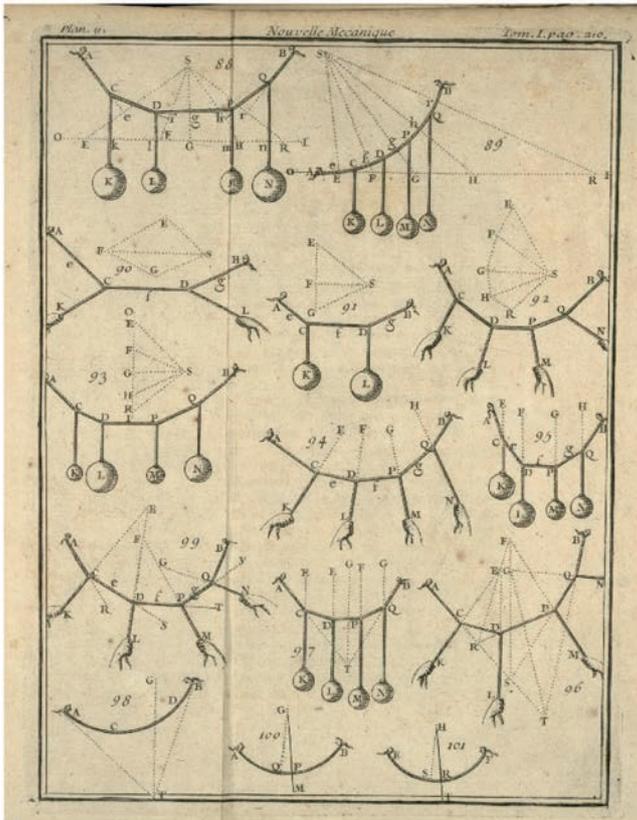


Anna Sinopoli

IL PROBLEMA DELL'EQUILIBRIO DA ARISTOTELE A VARIGNON



FrancoAngeli

Informazioni per il lettore

Questo file PDF è una versione gratuita di sole 20 pagine ed è leggibile con



La versione completa dell'e-book (a pagamento) è leggibile con Adobe Digital Editions. Per tutte le informazioni sulle condizioni dei nostri e-book (con quali dispositivi leggerli e quali funzioni sono consentite) consulta [cliccando qui](#) le nostre F.A.Q.



I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio “Informatemi” per ricevere via e.mail le segnalazioni delle novità.

Anna Sinopoli

**IL PROBLEMA
DELL'EQUILIBRIO
DA ARISTOTELE
A VARIGNON**

FrancoAngeli

Copyright © 2015 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito www.francoangeli.it.

*A Camillo
A chi ci ha lasciato
Ai miei collaboratori*

The history of construction shows us how debatable is the subordination of technique to theory; in fact, in most of the cases we will look at, the theory arose from technique, not the other way around. The scientific explanation often came to the fore at the end of a long journey – that of constructive techniques – whose origins are lost, as Koyré puts it, «in the mists of time», and whereof it was presented in the form of rational acknowledgment of what was known but not understood. We find, in fact, that ancient techniques slowly arrived at satisfying levels of complexity and perfection long before theory caught up with them. And theory evolved not so much because the techniques needed an intellectual underpinning as because of individuals' curiosity. The Dome of St. Peter's Basilica sprang heavenward without the benefit of theory. It not only preceded mathematical analysis but begot it. The division between inspiration and technique is of very recent origin and is largely artificial. In building, science and art have always been united in the creative act. Not even the most narrow-minded aesthete or engineer can part the two without losing something. To see Brunelleschi, Michelangelo, Guarini, Wren, Mansart, Soufflot, a hundred others, merely as great artists is to deprive them of credit for their brilliant engineering. Their wonderful technical innovations, their perfect determination of the weights that had to be balanced and the mechanisms of collapse that had to be opposed – these give coherence and splendor to their works.

E. Benvenuto¹

¹ Benvenuto E. (1991), *An introduction to the History of Structural Mechanics, Part II: Vaulted Structures and Elastic Systems*, Springer-Verlag, New York, XIX-XX.

Indice

Presentazione , di <i>Giangiaco­mo Martines</i>	pag.	I
Premessa	»	11
Introduzione	»	13
1. Origini filosofiche del principio delle velocità virtuali	»	23
Dalla laicizzazione della <i>téchnê</i> al problema del divenire	»	23
Filosofia naturale di Aristotele	»	27
2. La meccanica dell'antichità	»	37
La Scuola Peripatetica e i <i>Méchanikà Problémata</i>	»	37
Archimede	»	45
Le ambiguità implicite nella legge della leva	»	47
3. La meccanica nel Medioevo	»	51
Premessa	»	51
La trasmissione araba dell'antichità fra IX e XII secolo	»	52
I trattati di Archimede, Erone di Alessandria e Pappo	»	53
I trattati di Aristotele, Euclide e Thâbit ibn Qurra	»	56
Il <i>Kitâb fi'l-qarastûn</i>	»	59
La ricerca di Duhem delle fonti medievali occidentali	»	62
Il libro di Euclide sulla bilancia	»	63
Il <i>De ponderoso et levi</i>	»	65
Il <i>De ponderibus et levitatibus corporum ad invicem</i>	»	66
Il <i>Liber Charastonis</i> attribuito a Thâbit ibn Qurra	»	68
Il <i>De canonio</i>	»	69

4. Meccanica come scienza dei pesi governata dalla geometria	pag. 75
L'eredità greco-araba nel Medioevo occidentale	» 75
Giordano Nemorario ed il precursore di Leonardo	» 77
La <i>gravitas secundum situm</i> di Giordano Nemorario	» 77
Il precursore di Leonardo	» 84
Valenza teorica della scuola di Giordano	» 93
Altri temi della meccanica medievale e sua trasmissione	» 95
L'Occamismo scientifico, Buridano e Nicola d'Oresme	» 95
La scuola di Oxford ed il Calcolatore	» 97
Il trattato dei pesi di Blasius di Parma	» 98
5. La meccanica dal Rinascimento al XVII secolo	» 101
La riscoperta dei <i>Mêchanikà Problêmata</i>	» 101
Le tradizioni meccaniche nel Rinascimento	» 103
Leonardo da Vinci	» 107
Leonardo e la dinamica aristotelica	» 108
La generalizzazione del concetto di potenza	» 109
I dispositivi funicolari	» 113
La tensione lungo le funi ed il piano inclinato	» 120
L'eredità culturale di Leonardo: Tartaglia, Cardano e Benedetti	» 131
Guidobaldo del Monte, Galileo e Stevino	» 139
Guidobaldo del Monte e l'attacco alla Scuola di Giordano	» 140
La soluzione del piano inclinato di Galileo	» 144
Stevino ed il metodo assiomatico di Archimede	» 153
6. La conquista della legge di composizione delle forze	» 167
La Scuola francese di Statica	» 167
Roberval e la trasformazione delle macchine per analogia	» 175
Varignon e l'autonomia delle leggi della Statica	» 194
7. Conclusioni	» 203
<i>Dynamis, ischys</i> , forza... un concetto ancora oggi oscuro	» 203
Bibliografia	» 219
Bibliografia storica	» 219
Bibliografia moderna e contemporanea	» 221
Indice dei nomi	» 225

Presentazione

di Giangiacomo Martines¹

Questo libro può essere letto da studenti e studiosi, non solo di Meccanica Razionale, Scienza delle Costruzioni, Storia della Scienza, ma anche di discipline diverse. Nel libro non è utilizzato un linguaggio esclusivamente matematico, analitico, ma semplicemente letterario, come nelle opere di Archimede. Il testo è piano, ma l'approfondimento di concetti e l'acquisizione dei risultati proposti dall'Autrice dipendono dall'interesse specifico del lettore e dalla sua precedente preparazione sui singoli argomenti: questa caratteristica sembra un criterio euristico nel progetto dell'opera. Non è un trattato né un compendio, cioè una narrazione sistematica di storia della Statica, ma un commentario sulle opere e sui meccanici che l'Autrice presenta, secondo una formula letteraria classica nella tradizione di opere scientifiche, nella quale il traduttore seleziona, trascrive, commenta le opere precedenti e propone nuove tesi e propri teoremi. Tra i temi di fondo: il principio delle velocità virtuali, i *Méchanikà Problémata* dello Pseudo-Aristotele, il *perpetuum mobile*, la *gravitas secundum situm*, le macchine funicolari, il piano inclinato.

Una domanda di fondo è quale sia il limite nel tempo, nello sviluppo della Statica, dell'assioma di Aristotele, «che correla l'azione di una potenza (forza o *dynamis*) alla velocità di un corpo mosso». La risposta non è scontata ed è discussa per ogni autore commentato: è l'affermazione costante della Dinamica aristotelica, fino all'ultima pagina. Anche lo stile è intimamente aristotelico e per questo non stanca il lettore, che è condotto docilmente da una guida, esaustiva sui diversi sentieri. Il primo capitolo sembra più antico rispetto alla produzione dell'opera: si ha l'impressione che l'Autrice lo abbia scritto e riscritto dall'epoca del liceo classico, e che

¹ Direttore Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici del Friuli Venezia Giulia, dicembre 2010-gennaio 2014, Ministero dei Beni, delle Attività Culturali e del Turismo.

le lezioni di Filosofia divenissero una competizione, a casa Sinopoli nel pomeriggio: Giuseppe ricercava l'armonia, Anna l'equilibrio e Gabriele – il più piccolo cui il libro è dedicato – la poesia.

I sei capitoli presentano ciascuno una citazione all'inizio, di Aristotele, dello Pseudo-Aristotele, di Ernst Mach, René Dugas, Leonardo da Vinci e ancora Mach; non è un semplice occhiello ma il capitolo che segue è un dialogo – impossibile – con la personalità citata. Nei sei capitoli, Pierre Duhem, l'estensore della monumentale *Les origines de la Statique* (Paris 1905), è a sua volta la guida dell'Autrice, ma come Virgilio per Dante. Un'altra guida è Paolo Galluzzi, per aver analizzato in modo filologico *momentum ponderis* e *momentum temporis*, tra i quali la tensione sottintende l'intero libro. Galluzzi è in particolare l'ideale compagno nel viaggio intorno al Ms. E dell'Institut de France, *de ponderibus* di Leonardo da Vinci, sui meccanismi funicolari, che costituiscono il 'fulcro della bilancia' dell'intero libro.

È un'opera di specialità, che presuppone un interesse matematico e filosofico. La facilità di lettura posa su due ricette: il fascino di Aristotele appunto e la filologia. Di ogni opera analizzata è citata l'edizione filologica, ma in questo libro il metodo filologico è la ricerca della formulazione di un'idea e della derivazione di un autore dal precedente, consapevolmente, fino alla definizione. Definizione di cosa? Per cercare di rispondere, bisogna prima sfogliare il libro e poi leggerlo tutto d'un fiato, fiduciosi nella Professoressa come nelle lezioni all'università. Sfogliandolo emerge la chiarezza delle figure, sia di quelle ridisegnate che delle riproduzioni: su 88 illustrazioni, 1/4 esatto riguarda il piano inclinato; anche i meccanismi che nel libro si occupano del piano inclinato sono numerosi, 9 esattamente: *Pappus Alexandrinus*, il cosiddetto allievo di *Jordanus Nemorarius*, Leonardo da Vinci, Gerolamo Cardano, Galileo Galilei, Simon Stevin, Padre Marin Mersenne, Pierre Herigone, Gilles Personne Roberval; alcuni di essi sono raramente consultabili e insolitamente trattati nei manuali. La prima impressione è che l'Autrice intervisti, comunque, i suoi ospiti meccanici sul piano inclinato, perché lo studio richiede diverse applicazioni che sono proprio i temi del libro: dinamica aristotelica, leve equivalenti, meccanismi funicolari. Invece nella lettura, superato esattamente i 4/5 si arriva ad una tesi, non prima esplicitamente proposta, e si arriva alla relativa illustrazione che può essere un'ideale copertina (p. 162). Dapprima Stevin risolse il piano inclinato, mediante la collana di 14 sfere intorno ad un triangolo rettangolo, poggiato con l'ipotenusa su un piano orizzontale; successivamente egli considera due pesi in equilibrio sul piano inclinato e finalmente introduce la macchina funicolare equivalente: mediante le funi tese esprime la regola del 'parallelogramma' di composizione o di decom-

posizione di due forze ortogonali, concorrenti in un punto. C.v.d.: la Fig. 1 di Pierre Varignon (p. 195), cioè il ‘parallelogramma delle forze’ corrisponde alla figura di Stevin (p. 162), ovvero il ‘parallelogramma funicolare’. Il risultato non è così immediato e dopo Stevin bisogna leggere ancora trenta pagine per arrivare a Varignon; risfogliando il libro, questo epilogo è già adombrato all’inizio (p. 35).

Galileo Galilei: *Le Mechaniche* era stato già composto nel 1593 secondo la testimonianza di Vincenzo Viviani e fu pubblicato più tardi, a cura di Padre Mersenne, *Les Mechaniques de Galilée* (Paris 1634). Il piano inclinato è investigato verso la conclusione del trattato, nel capitolo sulla vite; *Della coclea d’Archimede per levar l’acqua* e *Della forza della Percossa* sono i due capitoli che chiudono il trattato. Anche in *Discorsi intorno a due nuove scienze* (Leida 1638), *Giornata Terza*, Salviati ritorna sull’argomento. Il confronto tra Stevin e Galileo anima diverse pagine di Mach, in *Die Mechanik* (Prag 1883), che conviene brevemente richiamare:

Stevin ricercò in modo del tutto originale le proprietà meccaniche del piano inclinato. (...)

La trattazione di Stevin è, nella preistoria della Meccanica, come una conchiglia fossile che ci illumina assai bene sul processo di formazione della scienza, sulla sua origine da conoscenze istintive. Ricordiamo che Archimede seguì la stessa tendenza di Stevin, anche se con minor successo. (...)

Se Stevin avesse esaminato il fenomeno [del piano inclinato] in tutti i suoi aspetti, come poi fece Galileo, il suo ragionamento non ci sembrerebbe così geniale. (...)

La trattazione galileiana del piano inclinato può sembrare meno ingegnosa di quella di Stevin, ma riconosciamo che essa è più naturale e più profonda. Galileo rivela la sua grandezza di scienziato in quanto ha il coraggio intellettuale di vedere, in un fenomeno già studiato da molto tempo, più che i suoi predecessori. (...)²

I saggi sul piano inclinato di Stevin e Galileo sono indipendenti l’uno dall’altro. L’Autrice non scardina affatto il rapporto critico istituito da Mach, ma precisamente attribuisce a Stevin l’origine del ‘parallelogramma delle forze’: è dunque la prima equazione della Statica, *in nuce*.

Stevin fu così orgoglioso della sua scoperta da porre il disegno della sua macchina – il piano inclinato con la collana di 14 perle – sul frontespizio di *Hypomnémata mathématica* (Leiden 1608, p. 164). Anche questa è una «conchiglia fossile» della scienza antica: cioè geometri e meccanici, dall’età classica fino a quella bizantina, dimostrarono le loro intuizioni at-

² Traduzione di Alfonsina d’Elia, ed. it. Torino, Bollati Boringhieri, 1977, rispettivamente pp. 57, 59, 61, 81.

traverso macchine ‘calcolatrici’ di loro propria invenzione: la trisettrice di Ippia di Elide, per dividere un angolo qualunque; il *mesólabo* di Eratostene di Cirene, per la duplicazione del cubo e altri meccanismi di altri geometri, descritti da Eutocio di Ascalona; la bilancia di Archimede; l’ellisse di Antemio di Tralles, fino al compasso di Isidoro di Mileto, per disegnare il profilo di cupole in equilibrio garantito (Martines, *Nunciatus* 29.2, 2014). Gli scienziati si indentificavano con i loro apparecchi, che potevano essere in legno, perfino in bronzo o più semplicemente ideali. Molti strumenti raggiungevano il risultato attraverso un processo geometrico di *neusis*, cioè di approssimazione del risultato cercato attraverso il movimento di un’asticella, che traduceva in forma empirica la soluzione di un sistema di equazioni. Questa modalità di utilizzare strumenti meccanici in ausilio alla geometria fu abbandonata nell’età moderna con l’introduzione dell’analisi matematica e con la distinzione netta tra scienza ed empirismo; è una caratteristica dei nostri libri di testo, che allontana tanti studenti dalle materie scientifiche. Ecco uno dei valori di questo libro: mostrare la conquista dei concetti scientifici, a partire da presupposti approssimati o perfino erronei, come il piano inclinato di *Pappus*, il tutto in un processo di continuità.

L’Autrice individua il debito di Stevin verso Guido Ubaldo del Monte, la cui opera fu pubblicata in italiano nel 1581. La prova è un corollario di Stevin su un sistema di carrucole o taglia (p. 164):

Ut spatium agentis ad spatium patientis; sic potentia patientis ad potentiam agentis.

«Lo spostamento della potenza sta a quello della resistenza, come la resistenza sta alla potenza», che stabilisce la relazione inversa tra gli spazi percorsi da potenza e resistenza rispetto alle intensità di resistenza e potenza; gli spazi percorsi dalla potenza aumentano progressivamente secondo il numero delle carrucole. Effettivamente ne *Le Meccaniche* di Guido Ubaldo³ il capitolo *Della Taglia* occupa 1/3 del trattato, con figure in ogni pagina, e alla fine si apprezza la pazienza del muratore che tira ... tira un carico che non arriva mai in opera, ma senza versare una goccia di sudore: dall’esperienza del cantiere gli spostamenti virtuali, *in nuce*.

In questo libro abbiamo finalmente una rassegna storica sul piano inclinato. Si conclude con la macchina di Roberval (Paris 1636, p. 181), rappresentata in una xilografia che esprime tutto il fascino del Seicento e

³ Ora disponibile in anastatica curata da Pier Gabriele Molari, Sala Bolognese, Forni, 2013.

dei filosofi per il macchinismo, come ancora tre secoli dopo nel Costruttivismo Russo. Nella Meccanica classica, il piano inclinato non è considerato una macchina e infatti non è menzionato tra le 5 macchine semplici di Erone, argano, leva, puleggia, cuneo, vite, perché non richiede alcun congegno. Eppure Erone parla diffusamente del piano inclinato e fornisce la formula più chiara e approssimata del mondo antico. Nella trattazione di Galileo il piano inclinato è una macchina, per la sua identità concettuale con la vite. Finalmente Pierre Varignon enumera 6 macchine elementari, compreso il piano inclinato, e ne aggiunge una settima: l'apparecchio «Funiculaire» (p. 194). Questo passo di Varignon mostra la continuità tra il suo 'parallelogramma delle forze', il 'parallelogramma funicolare' e i piani inclinati di Stevin e Roberval.

Nella trattatistica, un possibile capostipite di tutti i piani inclinati è «La montagna» di Erone di Alessandria, com'è rappresentata nell'unica figura superstite di una copia araba, eseguita agli inizi del XVII secolo: si tratta del fol. 43 r del Ms. *Add. 23,390*, del British Museum (Fig. 1).

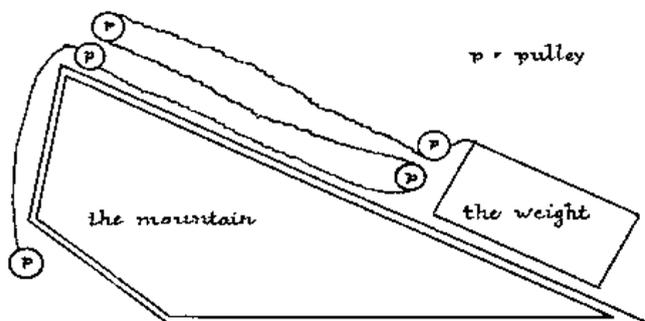


Fig. 1. Ms. 23,390, British Museum, inizio del XVII secolo, fol. 43 r: Erone di Alessandria, *Il sollevamento dei pesi*, 3.9, discesa di un blocco di pietra dalla sommità di una cava (disegno di Aage Gerhardt Drachmann, *The mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity*, Copenhagen, Munksgaard, 1963, p. 107).

Infatti nel terzo libro, Erone, che fu effettivamente contemporaneo di Nerone, discute come calare un pesante blocco di pietra da una cava – non innalzare –: il problema è risolto con una ferrovia funicolare di due carretti, di cui il secondo sale la montagna carico di piccole pietre di lavorazione, con una massa pari al masso da spostare; l'impulso del moto è dato da una coppia di animali da tiro, che potevano essere buoi, cavalli, cammelli, elefanti, secondo la latitudine. Nella pagina successiva, Erone impiega contrappesi, sospesi in verticale. Pappo ed Erone insegnavano ad Alessandria, alla foce del Nilo, e le loro teorie erano il risultato della tradizione di

trasporti e cantieri dell'Egitto faraonico: il giudizio sul rapporto tra cantiere e teoria è un altro valore del libro, che l'Autrice condivide con Mach e Alistair Crombie.

Seguendo appunto le tracce di Crombie, l'Autrice sottolinea la concomitanza nel XIV secolo tra il recente concetto di *gravitas secundum situm* e i cantieri delle cattedrali, in Francia e in tutta Europa. Non si riesce a spiegare altrimenti il rigore di equilibri costruiti con masse strettamente necessarie e sufficienti, senza l'empirismo/la teoria di *gravitas secundum situm*. Un terzo valore del libro è il contributo a una nuova disciplina sorta nell'ultimo quarto del secolo scorso e rappresentata in Italia da Edoardo Benvenuto, Salvatore Di Pasquale, Antonino Giuffré, come nel mondo anglosassone da Jacques Heyman e oltre i Pirenei da Santiago Huerta; è bello constatare che questi scienziati, che hanno fondato la Storia del pensiero scientifico delle costruzioni, hanno dedicato parte dei loro studi a problemi sul Gotico, come Di Pasquale in Santa Maria del Fiore a Firenze. La filosofia che essi hanno introdotto ha modificato i criteri del restauro e particolarmente del consolidamento: è necessario conoscere le risorse residue dell'edificio sotto cura e i presupposti scientifici dei loro costruttori, anche se erronei o perfino sbagliati, per arrivare a una diagnosi più precisa possibile. La scienza moderna e la tecnologia contemporanea occorrono per valutare lo stato limite, spesso sotto terremoto, e per intervenire con il miglioramento statico su un quadro patologico, disegnato da un medico orientale: interventi minimi e mirati come l'agopuntura. Ecco infine apparire il compagno invisibile seduto al tavolo dell'Autrice intenta a scrivere: Edoardo Benvenuto.

Ma c'è un tema che è rimasto nella penna: l'evoluzione della *dynamis*, *potentia*, peso, forza; è un'altra delle questioni filosofiche cara all'Autrice, per cui è diventata fisico teorico prima, specializzata in Fisica dello Spazio – più propriamente Meccanica Celeste –, e poi docente di Scienza delle Costruzioni con tesi di laurea nella progettazione in assenza o con ridotta gravità. Forse sarà questo il primo capitolo della prossima opera, promessa nell'*Introduzione*, sull'arco in conci di pietra: *gravitas secundum situm*.

Premessa

Questo saggio è il primo di un progetto di ricerca che si propone di inquadrare l'evoluzione delle teorie meccaniche sviluppate nel corso della storia in relazione al problema dell'equilibrio ed alle sue applicazioni – quale ad esempio il problema della stabilità dell'arco murario o lapideo – in due scuole di pensiero che assumono enti diversi come concetti cardine, e corrispondono quindi a procedimenti metodologici distinti.

Seguendo un'accezione contemporanea, si potrebbero definire tali enti ed i conseguenti approcci come duali; ci riferiamo all'ente 'spostamento' – inteso come parametro di mobilità – ed al conseguente approccio cinematico, ed al suo ente duale 'forza' ed al conseguente approccio statico.

Si cercherà di dimostrare che, dopo secoli in cui l'analisi dell'equilibrio non aveva potuto rinunciare ad una impostazione prevalentemente cinematica basata sul concetto di potenza del moto o sul Principio delle Velocità Virtuali, il cambiamento di paradigma inizia nel XVII secolo e si consolida nel XVIII: la definizione del concetto di forza, attraverso la scoperta della sua struttura algebrica nelle macchine funicolari di Stevino e Roberval, consente a Varignon la formulazione delle equazioni di bilancio della statica, stabilendo una nuova modalità di approccio ai problemi di equilibrio. Da allora protagonista di ogni problema di equilibrio sarà il sistema di forze, mentre l'analisi di mobilità del sistema sarà considerata come un approccio duale o complementare, da coniugare al sistema di forze soltanto nel Principio dei Lavori Virtuali trattato come teorema.

Anche l'evoluzione del problema della stabilità dell'arco lapideo – che sarà oggetto di un futuro saggio – può essere inquadrata nella stessa ottica. Le prime analisi meccaniche elaborate dai cosiddetti 'Geometri' cercano di scoprire nella struttura indagata dapprima una fragilità collegata alla sua mobilità e poi il sistema di macchine semplici – bielle, leve e cunei – capaci di trasformarla nel meccanismo che è consentito dalla mobilità intrin-

seca del sistema, costituito da conci assemblati a secco; come nel caso più generale dell'equilibrio, la garanzia di stabilità deriva dall'individuazione delle condizioni che garantiscono il blocco della mobilità e quindi del collasso.

Artefice del cambiamento di paradigma per l'arco murario è Coulomb che, nel *Mémoire* del 1773, per la prima volta utilizza le ormai note equazioni fondamentali della statica per individuare il sistema di forze garanti dell'equilibrio in un sistema iperstatico complesso. Se per i 'Geometri' l'equilibrio nasceva dall'impossibilità della formazione di meccanismo, per Coulomb il collasso nasce dall'impossibilità delle forze di garantire l'equilibrio. Ebbene, sia l'approccio statico proposto da Coulomb nel 1773, sia l'approccio cinematico formalizzato da Mascheroni nel 1785 corrispondono esattamente alla filosofia della moderna metodologia dell'analisi limite della teoria della plasticità, sviluppata quasi due secoli dopo per il problema del collasso plastico delle strutture in acciaio.

È merito di Jacques Heyman, intorno agli anni '70, aver per primo realizzato un sapiente trasferimento delle metodologie dell'analisi limite della plasticità dallo *steel* allo *stone skeleton*, riproponendo l'attualità del geniale metodo statico di Coulomb.

Scopo del presente e di futuri lavori è quello di integrare il quadro riproponendo l'attualità del metodo cinematico. In questo saggio, in particolare, si cercherà di evidenziare per il problema dell'equilibrio la coerenza dell'approccio metodologico incentrato su un'analisi di mobilità che, trasformando per analogia gli 'oggetti' della meccanica, ha paradossalmente consentito – grazie al riferimento al concetto di potenza aristotelica o di potenza del moto – di giungere attraverso l'analisi del movimento a definire il suo ente duale, e cioè il concetto di forza.

Poiché il problema dell'equilibrio dipende essenzialmente dal concetto di forza, la scelta critica operata lungo il corso della storia ha privilegiato quelle intuizioni che hanno consentito di separare il concetto di forza da altre grandezze ad essa correlate nei problemi meccanici (spostamento, velocità, braccio, etc.), in modo da enucleare le sue proprie caratteristiche di ente vettoriale, fortemente radicato in termini di concetto alla sua struttura algebrica, e cioè alla sua legge di composizione.

Introduzione

La storia dell'evoluzione del pensiero scientifico dimostra come la suddivisione specialistica e settoriale delle discipline sia frutto dell'epoca moderna; mentre, fin dagli inizi, la scienza è stata intimamente connessa ad aspetti speculativi diversi, in modo particolare con il pensiero filosofico. È durato, infatti, più di venti secoli il processo che ha condotto la Meccanica a divenire una scienza formale ed assiomatica, basata su principi ben evidenti, i cui teoremi riescono a fornire interpretazione di fatti empirici.

La Statica, con cui la Meccanica si è pressoché identificata fino al XVII secolo, è una delle scienze più antiche. I suoi primordi possono essere situati agli albori della cultura greca, alcuni secoli prima della nascita di Cristo, ed essa non si è evoluta in un processo di continuo accrescimento, ma soprattutto nel mondo occidentale è restata pressoché ferma alle conoscenze del periodo greco fino al Medioevo.

I motivi di tale stallo vanno imputati non soltanto alla totale coincidenza in quel periodo della Meccanica con la Statica, ma soprattutto all'ambiguità che nasce dall'enunciazione di principi che coinvolgono l'oscuro e intuitivo concetto di forza, che dagli stessi principi trae la sua definizione. Scopo della Meccanica, infatti, non è tanto quello di accertare i fatti dell'esperienza, quanto di interpretarli alla luce di principi evidenti. Ebbene, la Meccanica è essenzialmente Statica presso i Greci e l'intuitivo concetto di forza, il 'peso', è strettamente connesso alle leggi della Statica.

Fin dal tempo del suo *incipit* greco – scrive l'anonimo autore medioevale di un commentario sugli *Elementa* di Giordano Nemorario – la statica ha dato origine ad una delle questioni più stimolanti della filosofia naturale e delle scienze esatte. «La scienza dei pesi è subordinata alla Geometria così come alla Filosofia Naturale»¹.

¹ Duhem P. (1905), *Les origines de la statique*, Librairie Scientifique A. Hermann, Paris, Vol. I, 131.