

DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue scienze

Attenenti alla
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI,
del Signor

GALILEO GALILEI LINCEO,
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo
Grand Duca di Toscana.

Con una Appendice del centro di gravità d'alcuni Solidi.



IN LEIDA,
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. XXXVIII.

Frontespizio dei *Discorsi intorno a due nuove scienze*
(Leida, Elzevier, 1638).

GIORNATA PRIMA

INTERLOCUTORI

*Salviati, Sagredo e Simplicio*¹

Salv. Largo campo di filosofare a gl'intelletti specolativi parmi che porga la frequente pratica del famoso arsenale di voi, Signori Veneziani, ed in particolare in quella parte che meccanica si domanda; atteso che quivi ogni sorte di strumento e di machina vien continuamente posta da numero grande d'artefici, tra i quali, e per l'osservazioni fatte dai loro antecessori, e per quelle che di propria avvertenza vanno continuamente per se stessi facendo, è forza che ve ne siano de i peritissimi e di finissimo discorso².

¹ Sui personaggi dei *Discorsi*, cfr. p. 18, n. 9.

² Il solenne riconoscimento che Galilei tributa qui, in apertura della sua più importante opera scientifica, costituisce un deciso capovolgimento dei metodi e delle mentalità dominanti nella tradizione scientifica, una decisa trasformazione di prospettive e di criteri. Per tutto il Medioevo nessun apprezzamento era stato fatto dei problemi tecnici da parte degli uomini di cultura e dei dotti delle università, e le arti meccaniche si tramandarono di secolo in secolo senza che i loro cultori potessero conseguire una piena consapevolezza scientifica dei loro procedimenti, affidandosi al caso, all'invenzione fortuita, se non addirittura alla illusione della rivelazione magica e misterica dei ritrovati. Per superare queste condizioni di casualità, di arbitrarietà e di soggettività nella produzione tecnica, era necessario da un lato che i tecnici - ingegneri, artigiani, artisti - conseguissero con un maggior prestigio sociale e culturale una più profonda consapevolezza della propria funzione ai fini della medesima ricerca scientifica, e quindi cogliessero il significato teorico posto a fondamento dei propri esperimenti; dall'altro era necessario che i dotti delle accademie e delle università si rinnovassero rinunciando alle loro presuntuose ed esclusive nozioni del sapere, sostituendo alla concezione di una scienza e di un sapere fondati sull'« universale » quella di una conquista da realizzarsi

Sagy. V. S. non s'inganna punto: ed io, come per natura curioso, frequento per mio diporto la visita di questo luogo e la pratica di questi che noi, per certa preminenza che tengono sopra 'l resto della maestranza, domandiamo protti; la conferenza de i quali mi ha più volte aiutato nell'investigazione della ragione di effetti non solo maravigliosi, ma reconditi ancora e quasi inopinabili. È vero che tal volta anco mi ha messo in confusione ed in disperazione di poter penetrare come possa seguire quello che, lontano da ogni mio concetto, mi dimostra il senso esser vero. E pur quello che poco fa ci diceva quel buon vecchio è un dettato ed una

tramite il dominio dei particolari. La lotta in nome di una nuova scienza, che traesse ispirazione dalla pratica e dalle cose, che si costruisse su osservazioni concrete e su coerenti dimostrazioni, fu affrontata da Galileo Galilei, che, inserito nella tradizione del costume accademico, seppe portare le esigenze nuove del mondo tecnico nel campo della cultura ufficiale, attraverso una rivalutazione del significato teorico dell'esperimento e dei dati matematici, su cui costruire la conoscenza della natura. Tutta la sua attività scientifica si svolge mediante il nesso costante di esperienza e riflessione matematica, dalle applicazioni del principio della leva agli esperimenti sui piani inclinati, alle invenzioni del compasso e del cannocchiale, alle indagini sul principio d'inerzia e a quelle di ingegneria idraulica. Quando egli scriveva nel 1640 che gli anni trascorsi a Padova erano stati i migliori della sua vita, intendeva, fra l'altro, riferirsi a quel fervore d'iniziativa pratiche e teoriche che sollecitando l'invenzione e la riflessione accostavano il mondo della scienza e quello della pratica, gli uomini dello Studio padovano e gli uomini dell'Arsenale, in una comune opera di fondazione di una nuova scienza che, apprezzando l'invenzione e l'esperimento, unisse le aspirazioni di una conoscenza universale e quella per un vasto dominio della natura da parte dell'umanità. Galilei stesso dette chiaro esempio di come intendeva dovesse essere lo scienziato moderno e per questo fu sempre sensibile ai problemi della società e della produzione tecnica.

In questa giornata, dalla constatazione della resistenza di macchine di forma simile ma di grandezza diverse, che però diminuisce proporzionalmente all'aumento della grandezza, e dal conseguente rilievo dell'incongruenza tra geometria e materia, tra sviluppo matematico e sviluppo fisico, si svolge in questa prima giornata una « lunga introduzione generale dialettica alla nuova fisica matematica » (A. BANFI, *op. cit.*, p. 217): si parte da una nuova considerazione dell'*horror vacui* inteso come ipotesi fisica e si imposta un'indagine sulla struttura della materia, in cui, invero, sono contenute una serie di divagazioni, interessanti sia per il significato scientifico, come quella sul rapporto tra divisione matematica e divisione fisica, o quella sugli indivisibili, sia per le implicazioni filosofiche, come la discussione sull'atomismo democriteo. Non mancano spunti di considerazioni sulla caduta dei gravi.

proposizione ben assai vulgata; ma però io la reputava in tutto vana, come molte altre che sono in bocca de i poco intelligenti, credo da loro introdotte per mostrar di saper dir qualche cosa intorno a quello di che non son capaci.

Salv. V. S. vuol forse dire di quell'ultimo pronunziato ch'ei profferì mentre ricercavamo d'intendere per qual ragione facevano tanto maggior apparecchio di sostegni, armamenti ed altri ripari e fortificazioni, intorno a quella gran galeazza che si doveva varare, che non si fa intorno a vasselli minori; dove egli rispose, ciò farsi per evitare il pericolo di direnarsi, oppressa dal gravissimo peso della sua vasta mole, inconveniente al quale non son soggetti i legni minori?

Sagr. Di cotesto intendo, e sopra tutto dell'ultima conclusione ch'ei soggiunse, la quale io ho sempre stimata concetto vano del vulgo; cioè che in queste ed altre simili machine non bisogna argumentare dalle piccole alle grandi, perché molte invenzioni di machine riescono in piccolo, che in grande poi non sussistono. Ma essendo che tutte le ragioni della mecanica hanno i fondamenti loro nella geometria, nella quale non veggo che la grandezza e la piccolezza faccia i cerchi, i triangoli, i cilindri, i cono e qualunque altre figure solide, soggette ad altre passioni queste e ad altre quelle; quando la machina grande sia fabricata in tutti i suoi membri conforme alle proporzioni della minore, che sia valida e resistente all'esercizio al quale ella è destinata, non so vedere perché essa ancora non sia esente da gl'incontri che sopraggiugner gli possono, sinistri e destruttivi.

Salv. Il detto del vulgo è assolutamente vano; e talmente vano, che il suo contrario si potrà profferire con altrettanta verità, dicendo che molte machine si potranno far più perfette in grande che in piccolo: come, per esempio, un oriuolo, che mostri e batta le ore, più giusto si farà d'una tal grandezza che di un'altra minore. Con miglior fondamento usurpano quel medesimo detto altri più intelligenti, i quali della riuscita di tali machine grandi, non conforme a quello che si raccoglie dalle pure ed astratte dimostrazioni geometriche, ne rimettono la causa nell'imperfezione della materia, che soggiace a molte alterazioni ed imperfezioni.

Ma qui non so s'io potrò, senza inciampare in qualche nota di arroganza, dire che né anco il ricorrere all'imperfezioni della materia, potenti a contaminare le purissime dimostrazioni matematiche, basti a scusare l'inobbedienza delle machine in concreto alle medesime astratte ed ideali: tuttavia io pure il dirò, affermando che, astraendo tutte l'imperfezioni della materia e supponendola perfettissima ed inalterabile e da ogni accidental mutazione esente, con tutto ciò il solo esser materiale fa che la machina maggiore, fabbricata dell'istessa materia e con l'istesse proporzioni che la minore, in tutte l'altre condizioni risponderà con giusta simmetria alla minore, fuor che nella robustezza e resistenza contro alle violente invasioni; ma quanto più sarà grande, tanto a proporzione sarà più debole. E perché io suppongo, la materia essere inalterabile, cioè sempre l'istessa, è manifesto che di lei, come di affezione eterna e necessaria, si possano produr dimostrazioni non meno dell'altre schiette e pure matematiche³. Però, Sig. Sagredo, revochi pur l'opinione che teneva, e forse insieme con molti altri che nella mecanica han fatto studio, che le machine e le fabbriche composte delle medesime materie, con puntuale osservanza delle medesime proporzioni tra le loro parti, debban essere egualmente, o, per dir meglio, proporzionalmente, disposte al resistere ed al cedere alle invasioni ed impeti esterni, perché si può geometricamente dimostrare, sempre le maggiori essere a proporzione men resistenti che le minori; sì che ultimamente non solo di tutte le machine e fabbriche artificiali, ma delle naturali ancora, sia un termine necessariamente ascritto, oltre al quale né l'arte né la natura possa trapassare: trapassar, dico, con osservar sempre l'istesse proporzioni con l'identità della materia.

Sagr. Io già mi sento rivolgere il cervello, e, quasi nugola dal baleno repentinamente aperta, ingombrarmisi la mente da momentanea ed insolita luce, che da lontano mi accenna e subito confonde ed asconde imaginazioni stra-

³ Cfr. quanto abbiamo osservato a p. 28, n. 15.

niere ed indigeste. E da quanto ella ha detto parmi che dovrebbe seguire che fusse impossibil cosa costruire due fabbriche dell'istessa materia simili e diseguali, e tra di loro con egual proporzione resistenti; e quando ciò sia, sarà anco impossibile trovar due sole aste dell'istesso legno tra di loro simili in robustezza e valore, ma diseguali in grandezza.

Salv. Così è, Sig. Sagredo: e per meglio assicurarci che noi convenghiamo nel medesimo concetto, dico che se noi ridurremo un'asta di legno a tal lunghezza e grossezza, che fitta, v. g., in un muro ad angoli retti, cioè parallela all'orizzonte, sia ridotta all'ultima lunghezza che si possa reggere, sì che, allungata un pelo più, si spezzasse, gravata dal proprio peso, questa sarà unica al mondo; tal che essendo, per esempio, la sua lunghezza centupla della sua grossezza, nissuna altra asta della medesima materia potrà ritrovarsi che, essendo in lunghezza centupla della sua grossezza, sia, come quella, precisamente abile a sostener se medesima, e nulla di più; ma tutte le maggiori si fiaccheranno, e le minori saranno potenti a sostener, oltre al proprio peso, qualch'altro appresso. E questo che io dico dello stato di regger se medesimo, intendasi detto di ogni altra costituzione; e così se un corrente potrà reggere il peso di dieci correnti suoi eguali, una trave simile a lui non potrà altramente regger il peso di dieci sue eguali. Ma notino in grazia V. S. e 'l Sig. Simplicio nostro, quanto le conclusioni vere, benché nel primo aspetto sembrino improbabili, additate solamente qualche poco, depongono le vesti che le occultavano, e nude e semplici fanno de' lor segreti gioconda mostra. Chi non vede come un cavallo cadendo da un'altezza di tre braccia o quattro si romperà l'ossa, ma un cane da una tale, e un gatto da una di otto o dieci, non si farà mal nissuno, come né un grillo da una torre, né una formica precipitandosi dall'orbe lunare? i piccoli fanciulli restare illesi in cadute, dove i provetti si rompono gli stinchi o la testa? E come gli animali più piccoli sono, a proporzione, più robusti e forti de' i maggiori, così le piante minori meglio si sostentano: e già credo che amendue voi apprendiate che una quercia dugento braccia alta non potrebbe sostenere i suoi

rami sparsi alla similitudine di una di mediocre grandezza, e che la natura non potrebbe fare un cavallo grande per venti cavalli, né un gigante dieci volte più alto di un uomo, se non o miracolosamente o con l'alterar assai le proporzioni delle membra ed in particolare dell'ossa, ingrossandole molto sopra la simmetria dell'ossa comuni. Il creder parimente che nelle machine artificiali egualmente siano fattibili e conservabili le grandissime e le piccole, è errore manifesto: e così, per esempio, piccole guglie, colonnette ed altre solide figure, sicuramente si potranno maneggiare distendere e rizzare, senza rischio di rompersi, che le grandissime per ogni sinistro accidente andranno in pezzi, e non per altra cagione che per il loro proprio peso. E qui è forza che io vi racconti un caso degno veramente di esser saputo, come sono tutti gli accidenti che accascano fuori dell'aspettazione, e massime quando il partito preso per ovviare a uno inconveniente riesce poi causa potissima del disordine. Era una grossissima colonna di marmo distesa, e posata, presso alle sue estremità, sopra due pezzi di trave; cadde in pensiero dopo certo tempo ad un meccanico che fusse bene, per maggiormente assicurarsi che gravata dal proprio peso non si rompesse nel mezzo, supporgli anco in questa parte un terzo simile sostegno: parve il consiglio generalmente molto opportuno, ma l'esito lo dimostrò essere stato tutto l'opposito, atteso che non passarono molti mesi che la colonna si trovò fessa e rotta, giusto sopra il nuovo appoggio di mezzo.

Simp. Accidente in vero maraviglioso e veramente *praeter spem*, quando però fusse derivato dall'aggiungervi il nuovo sostegno di mezzo.

Salv. Da quello sicuramente derivò egli, e la riconosciuta cagion dell'effetto leva la maraviglia: perché, deposti in piana terra i due pezzi della colonna, si vedde che l'uno de i travi, su 'l quale appoggiava una delle testate, si era, per la lunghezza del tempo, infracidato ed avvallato, e, restando quel di mezzo durissimo e forte, fu causa che la metà della colonna restasse in aria, abbandonata dall'estremo sostegno; onde il proprio soverchio peso gli fece fare quello

che non, avrebbe fatto se solo sopra i due primi si fusse appoggiata, perché l'avvallarsi qual si fusse di loro, ella ancora l'arebbe seguito. E qui non si può dubitare che tal accidente non sarebbe avvenuto in una piccola colonna, benché della medesima pietra e di lunghezza rispondente alla sua grossezza con la proporzione medesima della grossezza e lunghezza della colonna grande.

Sagr. Già sin qui resto io assicurato della verità dell'effetto ma non penetro già la ragione come, nel crescersi la materia, non deva con l'istesso ragguaglio moltiplicarsi la resistenza e gagliardia; e tanto più mi confondo, quanto per l'opposito veggio in altri casi crescersi molto più la robustezza e la resistenza al rompersi, che non cresce l'ingrossamento della materia: che se, v. g., saranno due chiodi fitti in un muro, l'uno più grosso il doppio dell'altro, quello reggerà non solamente doppio peso di questo, ma triplo e quadruplo.

Salv. Dite pur ottuplo, né direte lontano dal vero: né questo effetto contraria a quello, ancor che in sembiante appaisca così diverso.

Sagr. Adunque, Sig. Salviati, spianateci questi scogli e dichiarateci queste oscurità, se ne avete il modo, ché ben conietture, questa materia delle resistenze essere un campo pieno di belle ed utili contemplazioni; e se vi contentate che questo sia il soggetto de i nostri ragionamenti di oggi, a me, e credo al Sig. Simplicio, sarà gratissimo.

Salv. Non posso mancar di servirle, purché la memoria serva me in sumministrarmi quello che già appresi dal nostro Accademico ⁴, che sopra tal materia aveva fatte molte speculazioni, e tutte, conforme al suo solito, geometricamente dimostrate, in modo che, non senza ragione, questa sua potrebbe chiamarsi una nuova scienza; perché se bene al-

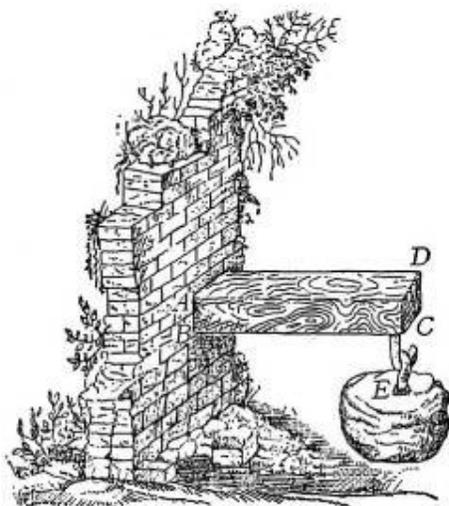
⁴ Fin dai tempi dell'insegnamento padovano Galilei aveva studiato il problema della resistenza dei metalli nell'ambito delle sue ricerche di meccanica (cfr. la lettera ad Antonio de' Medici, dell'11 febbraio 1609, X, pp. 228-30). L'Accademico di cui qui si parla è Galilei, del cui pensiero Salviati è sempre stato il più fedele portavoce. È chiamato così perché membro dell'Accademia dei Lincei.

il momento della potenza in C al momento della potenza in G è come la distanza GN alla NC : adunque, per la perturbata, il total peso A al momento della potenza in G è come la GN alla X . Ma la proporzione di GN ad X è composta della proporzione di GN ad NC e di quella di NC ad X , cioè di FB a BO ; adunque il peso A alla potenza che lo sostiene in G ha la proporzione composta della GN ad NC e di quella di FB a BO : ch'è quello che si doveva dimostrare ⁵.

Prop. I Or tornando al nostro primo proposito, intese tutte le cose sin qui dichiarate, non sarà difficile l'intender la ragione onde avvenga che un prisma o cilindro solido, di vetro, acciaio, legno o altra materia frangibile, che sospeso per lungo sosterrà gravissimo peso che gli sia attaccato, ma in traverso (come poco fa dicevamo) da minor peso assai potrà tal volta essere spezzato, secondo che la sua lunghezza eccederà la sua grossezza. Imperò che figuriamoci il prisma solido $ABCD$, fitto in un muro dalla parte AB , e nell'altra estremità s'intenda la forza del peso E (intendendo sempre, il muro esser eretto all'orizzonte, ed il prisma o cilindro fitto nel muro ad angoli retti): è manifesto che, dovendosi spezzare, si romperà nel luogo B , dove il taglio del muro serve per sostegno, e la BC per la parte

⁵ « Se sia un solido sopra l'orizzonte e questo si deva alzare, è cosa chiara che se piglieremo una lieva che abbia il suo sostegno, ch'a volerlo equilibrare, bisognerà, volendo prima sollevarlo, mettere dall'altra parte della lieva potenza tale, che abbia al peso assoluto di detto solido la medesima proporzione che hanno tra loro le parti di detta lieva, ma contrariamente presi. Ma se ci contenteremo d'alzarne una parte, e che il rimanente si posi in terra, in questo caso, mentre si comincia ad alzarne una parte, sempre va scemando il peso sopra la lieva e va crescendo in terra: però si dimostrerà che detto peso alla potenza che deve equilibrarlo in qualsivoglia sito che sarà detto solido, abbi proporzione composta di quella che hanno tra di loro le parti della lieva, cioè quella ch'è dal fulcimento verso la potenza a quella che è dal fulcimento verso il solido, e di quella ch'ha la linea parallela all'orizzonte, compresa tra la perpendicolare che casca dove tocca la lieva nel solido e dove tocca il solido in terra, a quella ch'è compresa tra la perpendicolare che casca a detta linea dal centro della gravità di detto solido e dove tocca detto solido la detta linea orizzontale. » (frammento VIII, p. 366).

della leva dove si pone la forza; e la grossezza del solido BA è l'altra parte della leva, nella quale è posta la resistenza, che consiste nello staccamento che s'ha da fare della parte del solido BD , che è fuor del muro, da quella che è dentro: e per le cose dichiarate, il momento della forza posta in C al momento della resistenza, che sta nella grossezza del prisma, cioè nell'attaccamento della base BA con la sua



contigua, ha la medesima proporzione che la lunghezza CB alla metà della BA ; e però l'assoluta resistenza all'esser rotto, che è nel prisma BD (la quale assoluta resistenza è quella che si fa col tirarlo per diritto, perché allora tanto è il moto del movente quanto quello del mosso), all'esser rotto con l'aiuto della leva BC , ha la medesima proporzione che la lunghezza BC alla metà

di AB nel prisma, che nel cilindro è il semidiametro della sua base⁶. E questa sia la nostra prima proposizione. E notate, che questo che dico, si debbe intendere, rimossa la considerazione del peso proprio del solido BD , il qual solido ho preso come nulla pesante: ma quando vorremo mettere in conto la sua gravità, congiugnendola col peso E , doviamo al peso E aggiugnere la metà del peso del solido BD ; sì che essendo, v. g., il peso di BD due libbre, e 'l peso di E libbre dieci, si deve pigliare il peso E come se fusse undici.

⁶ Poiché Galilei si richiama qui integralmente al principio della leva e quindi dei lavori virtuali, non tiene in conto alcuno l'elasticità dei corpi e quindi la loro maggiore capacità di resistenza; ciò dipende in generale dalla mentalità scientifica ch'egli s'era venuto formando, a carattere geometrico-meccanico, che, a nostro avviso, gli impediva di esaminare altri aspetti dei problemi non rientranti della sua prospettiva.

A al momento E ; adunque, per l'analogia perturbata, come la resistenza DC alla MN , così il momento A al momento X : adunque il prisma X è nella medesima costituzione di momento e resistenza che il prisma A .

Ma voglio che facciamo il problema più generale; e la proposizione sia questa:

Dato il cilindro AC , qualunque si sia il suo momento verso la sua resistenza, e data qual si sia lunghezza DE , trovar la grossezza del cilindro, la cui lunghezza sia DE , e 'l suo momento verso la sua resistenza ritenga la medesima proporzione che il momento del cilindro AC alla sua.

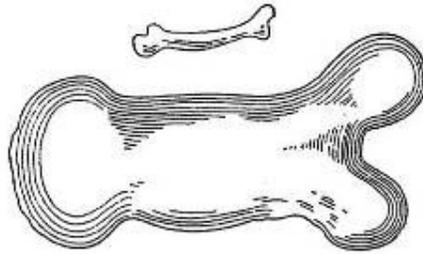
Ripresa l'istessa figura di sopra e quasi l'istesso progresso, diremo: perché il momento del cilindro FE al momento della parte DG ha la medesima proporzione che il quadrato ED al quadrato FG , cioè che la linea DE alla I ; ed il momento del cilindro FG al momento del cilindro AC è come il quadrato FD al quadrato AB , cioè come il quadrato DE al quadrato I , cioè come il quadrato I al quadrato M , cioè come la linea I alla O ; adunque *ex æquali*, il momento del cilindro FE al momento del cilindro AC ha la medesima proporzione della linea DE alla O , cioè del cubo DE al cubo I , cioè del cubo di FD al cubo di AB , cioè della resistenza della base FD alla resistenza della base AB : ch'è quello che si doveva fare.

Or veggino come dalle cose sin qui dimostrate apertamente si raccoglie l'impossibilità del poter non solamente l'arte, ma la natura stessa, crescer le sue macchine a vastità immensa: sì che impossibil sarebbe fabbricar navilii, palazzi o templi vastissimi, li cui remi, antenne, travamenti, catene di ferro, ed in somma le altre lor parti, consistessero; come anco non potrebbe la natura far alberi di smisurata grandezza, poiché i rami loro, gravati dal proprio peso, finalmente si fiaccherebbero; e parimente sarebbe impossibile far strutture di ossa per uomini, cavalli o altri animali, che potessero sussistere e far proporzionatamente gli uffizii loro, mentre tali animali si dovesser agumentare ad altezze immense, se già non si togliesse materia molto più dura e

resistentę della consueta, o non si deformassero tali ossi, sproporzionatamente ingrossandogli, onde poi la figura ed aspetto dell'animale ne riuscisse mostruosamente grosso: il che forse fu avvertito dal mio accortissimo Poeta, mentre descrivendo un grandissimo gigante disse:

Non si può compatir quanto sia lungo,
Si smisuratamente è tutto grosso⁸.

E per un breve esempio di questo che dico, disegnai già la figura di un osso allungato solamente tre volte, ed ingrossato con tal proporzione, che potesse nel suo animale grande far l'uffizio proporzionato a quel dell'osso minore nell'animal più piccolo, e le figure son queste: dove vedete sproporzionata figura che diviene quella dell'osso ingrandito. Dal che è manifesto, che chi volesse mantener in un vastissimo gigante le proporzioni che hanno le membra in un uomo ordinario, bisognerebbe o trovar materia molto più dura e resistente, per formarne l'ossa, o vero ammettere che la robustezza sua fusse a proporzione assai più fiacca che ne gli uomini di statura mediocre; altrimenti, crescendo a smisurata altezza, si vedrebbero dal proprio peso opprimere e cadere. Dove che, all'incontro, si vede, nel diminuire i corpi non si diminuir con la medesima proporzione le forze, anzi ne i minimi crescer la gagliardia con proporzion maggiore: onde io credo che un piccolo cane porterebbe addosso due o tre cani eguali a sé, ma non penso già che un cavallo portasse né anco un solo cavallo, a se stesso eguale.



Simp. Ma se così è, grand'occasione mi danno di dubitare le moli immense che vediamo ne i pesci; ché tal balena, per quanto intendo, sarà grande per dieci elefanti; e pur si sostengono.

⁸ L. ARIOSTO, *Orlando furioso*, XVII, 30.