

Strumenti didattici

Tracce didattiche

Progetto didattico Galileo Galilei

(proff. M. Barbisotti, G. Luppi, F. Mancini)

La proposta didattica multidisciplinare (latino e greco, storia e filosofia, matematica e fisica) è pensata per essere sviluppata con alunni degli ultimi due anni del liceo classico, in modo da formare una classe virtuale (circa 30 alunni) nella quale il lavoro può essere articolato su vari livelli:

- ricerca di immagini e relativa scelta, corredata da un'adeguata didascalia e rimando all'autore, per proporre visivamente e con immediatezza alcuni aspetti inerenti al progetto ad esempio, relativamente all'ambito storico e artistico (il Convento di San Marco a Firenze) o a quello storico-scientifico (riproduzione di alcune macchine di Galileo);
- ricerca guidata di fonti (anche coeve) e selezione dei testi e dei loro passaggi più significativi: sia in traduzione sia in lingua originale;
- studio storico-scientifico di alcuni esperimenti di Galileo e loro spiegazione, tramite grafici e formule matematiche;
- analisi delle principali problematiche storico-filosofiche suscitate dalle scoperte di Galileo e delle loro implicazioni etiche e religiose.

Argomenti di discussione

- problema delle fonti (problema base in ogni lavoro di ricerca e particolarmente arduo nel caso di temi così controversi come quelli suscitati dalle ricerche galileiane);
- attualità del pensiero di Galileo e del suo metodo scientifico;
- rapporto fra etica, fede e libero pensiero.

Bibliografia ragionata

Biografia di Galileo: una sintetica biografia di Galileo Galilei si trova in F. Cioffi, G. Luppi, *I filosofi e le idee*, vol. II, pag. 183, Bruno Mondadori, Milano 2004. Per una trattazione ampia e completa della vicenda biografica di Galileo, cfr. l'ormai classico S. Drake, *Galileo. Una biografia scientifica*, trad. it., Il Mulino, Bologna 1988. Più recente: M. Camerota, *Galileo Galilei e la cultura scientifica nell'età della Controriforma*, Salerno, Roma 2004. Entrambi questi volumi presentano anche biograficamente i principali aspetti della produzione scientifica e filosofica di Galileo. E' di grande interesse, ma molto interpretativo, il testo teatrale di Bertolt Brecht, *Vita di Galileo*, 1955, trad. it., Einaudi, Torino 1963, da cui è tratto anche il film di Joseph Losey, *Galileo*, 1975. Un'altra importante versione cinematografica della vicenda galileiana è quella italiana di Liliana Cavani, *Galileo*, 1968.

Le opere di Galileo: i testi di Galileo utilizzati durante il progetto sono stati tratti dall'edizione delle *Opere* curata da F. Brunetti per la UTET, Torino, 1962, in due volumi.

Tempi e modalità di realizzazione

Il lavoro può essere svolto nei primi tre/quattro mesi di scuola organizzato in orario curricolare: per l'analisi dei testi in lingua (qualche passo da Aristotele in greco e ampie sezioni di opere di Galileo), delle formule matematiche e delle leggi fisiche e per le

problematiche storico-filosofiche. Lo studio domestico individuale accompagna naturalmente queste fasi, ad esempio durante la pausa natalizia.

Le fasi operative, consistenti nell'utilizzo della piattaforma didattica BEIC direttamente via web browser (caricamento dei testi e delle immagini e partecipazione al forum di discussione), possono avvenire nell'aula informatica presente nella scuola oppure direttamente da casa, presumibilmente in orario extra-curricolare.

Sezione 1. Galileo. Una biografia nell'Italia del Seicento

Punto 1a

Biografia di Galileo

La biografia di Galileo è stata oggetto di studi storico-critici attenti da parte degli studiosi del pensiero scientifico, ma ha anche dato adito a interpretazioni romanzate, molto suggestive, presenti in alcune opere letterarie, teatrali e cinematografiche.

Proposte di lavoro

- *Approfondimento*: Elaborate una biografia di Galileo, inserendovi riferimenti al materiale bibliografico e cinematografico citato.

Punto 1b

La Venezia di Paolo Sarpi e la "questione dell'Interdetto"

Il testo seguente è tratto dalle *Considerazioni sopra le censure di Papa Paulo V contra la Serenissima Repubblica di Venezia* (Einaudi, Torino 1977). Fu scritto da Paolo Sarpi in qualità di consultore della Repubblica veneta, nel conflitto giurisdizionale che opponeva quest'ultima alla curia romana, che gli storici chiamano "questione dell'Interdetto". Il testo è del 1606, appartiene cioè al periodo in cui Galileo insegnava presso l'università di Padova e aveva rapporti scientifici stretti con Sarpi. Esso dimostra con quale puntiglio la Repubblica difendesse le sue prerogative sovrane dalle ingerenze del Papato. Tra tutti gli stati italiani della Controriforma, Venezia per diverse ragioni era quello che teneva maggiormente alla propria autonomia da Roma.

Testo tratto da Paolo Sarpi, *Considerazioni sopra le censure della santità di Papa Paulo V contra la Serenissima Repubblica di Venezia del P.M. Paolo da Venezia, dell'ordine dei Servi* (Opere di F. Paolo Sarpi servita, Helmstat 1763, vol. III, p. 187 e ss.)

«Ma primieramente ciascuno che con interna diligenza vorrà considerare, penetrerà [comprenderà] da se stesso che 'l far una legge che proibisca ad ogn'uno, così ecclesiastico come laico, di non fabricar chiese senza licenza, non è (come il Pontefice oppone) esercitar potestà sopra la Chiesa, ma sopra il fondo, sopra l'area o superficie ove si può fabricare, la qual nissuno negarà che non sia pura e meramente secolare. Nissun privato, che proibisca ad un ecclesiastico fabricar una Chiesa nel suo fondo, si dirà che ordini cosa alcuna sopra la Chiesa né a persona ecclesiastica, ma che disponga del fondo suo a beneplacito, e che vieti l'uso della cosa a chi non è obligato per legge concederlo. Non si chiama Chiesa quella che si può fabricare, ma quella che è già dedicata [consacrata]: ogni privato ha dominio sopra il fondo suo, et il principe sopra tutti li fondi del dominio ha una potestà maggiore; per il che, sì come è ingiustizia fabricar una Chiesa nel fondo di un privato senza sua permissione, così è ingiustizia fabricar in qual si voglia loco d'un principe contro la sua proibizione. Non viene levata qui libertà all'ecclesiastico in nessuno delli soprannominati sensi: nel primo, perché nissuno ha libertà d'usar cosa altrui contro il volere del padrone; nel secondo medesimamente, perché Dio, universal Signore d'ogni cosa, dando libertà alli ministri della Chiesa di edificar Tempij, non ha levato il dominio del privato né l'imperio del principe sopra il fondo: né il Papa ha disposto altrimenti, né

potrebbe disporre, per esser cosa temporale; né principe alcuno [alcun principe o potenza esterna] con suo privilegio ha potuto disporre alcuna cosa nello stato di questa Repubblica nata libera; e così non è derogato in conto alcuno [in questo modo non si limita minimamente] alla libertà ecclesiastica.

E se questa ragione valesse: la Chiesa è cosa spirituale, adunque chi dispone sopra il fabbricarla, dispone sopra cosa spirituale, ne seguirebbe che un principe, che proibisce mettere nelle fabbriche delle chiese roveri [tronchi di rovere], che sogliono servire al fabbricar galere, barche, ponti et in altro, ovvero che proibisce coprirle di piombo per carestia che n'avesse per uso di guerra, si direbbe far legge sopra le chiese e loro coperti, essendo nondimeno vero che fa l'ordinazione sopra li roveri e sopra il piombo, che sono cose meramente laiche. Qual cosa è, che non possa essere dedicata al culto divino? Forse non si troverà alcuna, ché non essendo se non il solo peccato contrario a Dio, ogni cosa gli può essere consacrata; adonque chi disporrà d'una cosa, vietando che non possa essere dedicata, offenderà Dio? Non certo».

Proposte di lavoro

a) Comprensione del testo

- Con quali argomenti Sarpi giustifica all'inizio del testo la legislazione edilizia della Repubblica di Venezia? Perché essa non gli appare come un limite alla libertà della Chiesa?
- Che cosa, a giudizio di Sarpi, è giusto designare come "Chiesa" e che cosa no?
- Perché il Papa non potrebbe in alcun modo imporre alla Repubblica di Venezia un differente comportamento in fatto di norme edilizie?
- Secondo Sarpi le travi di rovere sono cose "laiche" o "spirituali"?
- Qual è il senso del paradosso conclusivo?

b) Approfondimento

Perché questo testo, pur parlando di concessioni edilizie, ci permette di cogliere elementi importanti della vita della Repubblica veneta? Utilizzando in primo luogo il manuale di storia, svolgete una breve ricerca sulla questione dell'Interdetto e più in generale sulla Venezia a cavallo tra Cinque e Seicento, dove Galileo insegnava presso lo "studio padovano" e dalla quale Giordano Bruno era stato estradato. Quale immagine offriva di sé Venezia a quel tempo?

Punto 1c

Galileo a Firenze. La denuncia dei domenicani fiorentini contro Galileo

Testo della denuncia, indirizzata nel 1615 dal padre domenicano Lorini al cardinale prefetto della congregazione dell'Indice dei libri proibiti (da G. Luppi, *Perché fu condannato Galileo?* In AA. VV., *Dialogos*, vol. II, Bruno Mondadori, Milano 1999):

«Perché infinito è l'obbligo che tengono tutti i frati di San Domenico, che dal Santo lor Padre furono istituiti i cani bianchi e neri del Santo Offizio [*dal colore del saio domenicano che è appunto bianco e nero.*], ecco che per questo io [...] essendomi capitato tra le mani una scrittura corrente nelle mani di tutti [*cioè la lettera di Galileo a Castelli, che veniva fatta circolare per Firenze come "manifesto" dei galileiani*], fatta da questi che domandano [*si*

chiamano] galileisti, affermanti che la terra si muove et il cielo sta fermo, seguendo le posizioni di Copernico, dove a giudizio di tutti questi nostri Padri di questo religiosissimo convento di San Marco, vi son dentro molte proposizioni che ci paiono o sospette o temerarie [...] per questo mi son risoluto io d'avviarla a V.S. Illustrissima, acciò che ella, piena di santissimo zelo [...] possa se le parrà metterci quei ripari che la giudicherà più necessari».

Proposte di lavoro

a) Comprensione del testo

- Con quale ruolo e quando Galileo era tornato a Firenze da Padova?
- Quali sono i temi principali della denuncia? Perché il denunciante si sente obbligato a denunciare Galileo?
- Il domenicano Lorini, autore della denuncia, apparteneva al convento di San Marco a Firenze, molto famoso. Lo conoscete? Da chi erano state affrescate le celle dei monaci? Procuratevi immagini del convento e degli affreschi.
- I domenicani sono i primi a denunciare Galileo. Qual era la cultura teologica e filosofica dominante nell'ordine? Quale fu l'atteggiamento di altri importanti ordini religiosi, di fronte alle scoperte galileiane e alla loro interpretazione in senso copernicano?

Punto 1d

Galileo a Roma. La condanna (1633)

Testo della sentenza di condanna con la quale si concluse il processo a Galileo (da G. Luppi, *Perché fu condannato Galileo?* In AA. VV., *Dialogos*, vol. II, Bruno Mondadori, Milano 1999)

«Diciamo, pronuntiamo, sententiamo e dichiariamo che tu, Galileo suddetto, per le cose dedotte in processo e da te confessate [...] ti sei reso a questo S. Offizio vehementemente sospetto d'heresia, cioè d'aver tenuto e creduto dottrina falsa e contraria alle Sacre e divine Scritture, ch'il Sole sia centro della Terra [*intendi "del cosmo"*] e che non si muova da oriente a occidente, e che la Terra si muova e non sia centro del mondo, e che si possa tener e difendere per probabile un'opinione [*quella copernicana*] dopo esser stata dichiarata e diffinita per contraria alla Sacra Scrittura; e conseguentemente sei incorso in tutte le censure e pene dei sacri canoni [...] contro simili delinquenti imposte e promulgate. Dalle quali siamo contenti sii assoluto [cioè: siamo disposti ad assolverti], purché prima, con cuor sincero e fede non finta, davanti a noi abiuri, maledichi e detesti li suddetti errori ed heresie et qualunque altro errore et heresia contraria alla cattolica et Apostolica Chiesa [...]. E acciocchè questo tuo grave e pernicioso errore e trasgressione non resti del tutto impunito, et sii più cauto nell'avvenire et esempio all'altri che si astengano da simili delitti, ordiniamo che per pubblico editto sia proibito il libro de' Dialoghi di Galileo Galilei. Ti condanniamo al carcere formale in questo S. Off.o [*cioè nelle prigioni del Sant'uffizio*] ad arbitrio nostro; e per penitenze salutari t'imponiamo che per tre anni a venire dichi una volta la settimana li sette Salmi penitenziali: riservando a noi facoltà di moderare, mutare, o levar in tutto o parte le suddette pene e penitenze».

Proposte di lavoro

a) Comprensione del testo:

- Elencate i principali aspetti della condanna di Galileo.

b) Approfondimento

Dopo aver compiuto una ricerca, presentate in un testo di circa 5000 battute (compresi gli spazi) il processo a Galileo, seguito alla pubblicazione del Dialogo. Una ricostruzione del processo si trova in *Perché fu condannato Galileo?* In AA. VV., *Dialogos*, vol. II, Bruno Mondadori, Milano 1999). Per ulteriori approfondimenti – oltre alle biografie citate al punto 1a - può essere stimolante prender visione di Annibale Fantoli, *Galileo per il copernicanesimo e per la chiesa*, Specola vaticana, Libreria editrice vaticana, Città del Vaticano 1993, che riporta molte fonti.

c) Approfondimento

Il libro di Annibale Fantoli si inserisce nel quadro della revisione da parte della Chiesa cattolica della condanna contro Galileo. Svolgete una ricerca sull'atteggiamento della chiesa cattolica nei confronti di Galileo negli ultimi cinquant'anni.

Sezione 2. L'opera filosofica e scientifica di Galileo

2a. La battaglia di Galileo a favore di Copernico

Punto 2a1

Galilei. Sacra scrittura e autonomia della scienza

Dalla Lettera a Benedetto Castelli (1613)

Quando, nel 1613, Galileo imposta la propria battaglia a favore di Copernico, egli è convinto che l'atteggiamento favorevole della Chiesa cattolica rappresenti un presupposto indispensabile per lo sviluppo della nuova scienza. In particolare, lo scienziato pisano vuole evitare che la dottrina eliocentrica venga combattuta sulla base della presunta incompatibilità di essa con il significato letterale di pochi passi della Bibbia, i quali affermerebbero che il sole si muove.

Proprio questo è lo scopo della lettera padre Benedetto Castelli, benedettino, uno dei suoi più importanti collaboratori e discepoli. Galileo vi affronta la delicata questione del rapporto tra Bibbia e ricerca scientifica, tra verità di fede e verità di ragione ed esperienza. Non si tratta di una lettera privata, ma di una sorta di documento informale, da far circolare tra gli ecclesiastici, per convincerli della compatibilità del copernicanesimo con il cattolicesimo e ottenere il consenso della Chiesa al programma galileiano.

Al di là dell'occasione in cui fu scritta, la lettera a Benedetto Castelli rappresenta un "manifesto" della "nuova scienza" della natura: secondo Galileo, lo scienziato deve poter svolgere la propria ricerca in assoluta autonomia rispetto a criteri e censure di natura teologica.

«I particolari che ella disse¹, referitimi dal signor Arrighetti, m' hanno dato occasione di tornar a considerare alcune cose in generale circa 'l portar la Scrittura Sacra² in dispute di conclusioni naturali ed alcun'altra in particolare sopra 'l luogo di Giosuè³, propostoli, in contradizione della mobilità della Terra e stabilità del Sole, dalla Gran Duchessa Madre, con qualche replica della Serenissima Arciduchessa.

Quanto alla prima domanda generica di Madama Serenissima, parmi che prudentissimamente fusse proposto da quella e concesso e stabilito dalla Paternità Vostra, non poter mai la Scrittura Sacra mentire o errare, ma essere i suoi decreti d'assoluta ed inviolabile verità. Solo avrei aggiunto, che, se bene la Scrittura non può errare, potrebbe nondimeno talvolta errare alcuno de' suoi interpreti ed espositori, in varii modi: tra i quali uno sarebbe gravissimo e frequentissimo, quando volessero fermarsi sempre nel puro

¹ Alcuni aspetti della vostra riflessione. Un discepolo di Galileo, Niccolò Arrighetti aveva riferito al maestro i contenuti di una discussione svoltasi alla corte di Firenze tra Castelli e la granduchessa madre di Toscana, alla presenza del granduca.

² A proposito dell'uso di ricorrere alla Bibbia.

³ Galilei si riferisce al famoso passo del Libro di Giosuè, X, 12, 13, che molti interpretavano in senso anticopernicano, perché vi si parla di moto del sole: "Sol contra Gabaon ne movearis, et luna contra vallem Aialon. Steteruntque sol et luna, donec ulcisceretur se gens de inimicis suis" « Sole non muoverti verso Gabaon, e tu luna, verso la valle di Aialon. E si fermarono il sole e la luna, finché il popolo non si fu vendicato dei suoi nemici".

significato delle parole⁴, perché così vi apparirebbono non solo diverse contraddizioni, ma gravi eresie e bestemmie ancora; poi che sarebbe necessario dare a Iddio e piedi e mani e occhi⁵, e non meno affetti corporali e umani, come d'ira, di pentimento, d'odio, e anco talvolta l'obblivione⁶ delle cose passate e l'ignoranza delle future. Onde, sì come nella Scrittura si trovano molte proposizioni le quali, quanto al nudo senso delle parole, hanno aspetto diverso dal vero, ma son poste in cotal guisa per accomodarsi all'incapacità del vulgo, così per quei pochi che meritano d'esser separati dalla plebe è necessario che i saggi espositori produchino⁷ i veri sensi, e n'additino le ragioni particolari per che siano sotto cotali parole stati profferiti.

Stante, dunque, che la Scrittura in molti luoghi è non solamente capace, ma necessariamente bisognosa⁸ d'esposizioni diverse dall'apparente significato delle parole, mi par che nelle dispute naturali ella dovrebbe esser riserbata nell'ultimo luogo⁹: perché¹⁰, procedendo di pari dal Verbo divino la Scrittura Sacra e la natura, quella come dettatura dello Spirito Santo, e questa come osservantissima esecutrice de' gli ordini di Dio; ed essendo, di più, convenuto nelle Scritture, per accomodarsi all'intendimento dell'universale¹¹, dir molte cose diverse, in aspetto e quanto al significato delle parole, dal vero assoluto¹²; ma, all'incontro, essendo la natura inesorabile e immutabile e nulla curante che le sue recondite ragioni e modi d'operare sieno o non sieno esposti alla capacità de' gli uomini, per lo che ella non trasgredisce mai i termini delle leggi imposteli; pare che quello de' gli effetti naturali¹³ che o la sensata esperienza ci pone innanzi a gli occhi o le necessarie dimostrazioni ci concludono¹⁴, non debba in conto alcuno esser revocato in dubbio per luoghi della Scrittura ch'avesser nelle parole diverso sembiante¹⁵, poi che non ogni detto della Scrittura è legato a obblighi così severi com'ogni effetto di natura. Anzi, se per questo solo rispetto, d'accomodarsi alla capacità de' popoli rozzi e indisciplinati, non s'è astenuta la Scrittura d'adombrare de' suoi principalissimi dogmi¹⁶, attribuendo sino all'istesso Dio condizioni lontanissime e contrarie alla sua essenza, chi vorrà asseverantemente¹⁷ sostenere che ella, posto da banda¹⁸ cotal rispetto¹⁹, nel parlare anco incidentemente di

⁴ Limitarsi al significato letterale.

⁵ Quasi una citazione da Dante, Paradiso, IV, 43-45: "e piedi e mano/attribuisce a Dio e altro intende".

⁶ Dimenticanza.

⁷ Svelino.

⁸ Non solo si presta a essere interpretata in senso diverso da quello letterale, ma deve esserlo.

⁹ Funge da principale del lungo periodo che va da "Stante dunque che la Scrittura" fino a "com'ogni effetto di natura".

¹⁰ "perché" regge il verbo "pare" che si trova molte righe più sotto, dopo le proposizioni introdotte dai gerundi "procedendo", "essendo", "essendo".

¹¹ Adeguarsi alla capacità di comprensione di tutti.

¹² La verità come è in sé, indipendentemente dalla capacità umana di comprenderla.

¹³ Fenomeni naturali.

¹⁴ Ci dimostrano.

¹⁵ In ragione di passi della Bibbia che avessero letteralmente significati diversi.

¹⁶ Velare alcuni delle fondamentali verità di fede.

¹⁷ Con tutta certezza

¹⁸ Posto in secondo piano.

¹⁹ Quella preoccupazione (di tener conto della capacità di comprensione del popolo).

Terra o di Sole o d'altra creatura, abbia eletto²⁰ di contenersi con tutto rigore dentro a i limitati e ristretti significati delle parole? E massime pronunziando di esse creature cose lontanissime dal primario istituto²¹ di esse Sacre Lettere, anzi cose tali, che, dette e portate con verità nuda e scoperta, avrebbon più presto danneggiata l'intenzion primaria, rendendo il vulgo più contumace²² alle persuasioni de gli articoli concernenti alla salute. Stante questo, ed essendo di più manifesto che due verità non posson mai contrariarsi, è ofizio²³ de' saggi espositori²⁴ affaticarsi per trovare i veri sensi de' luoghi sacri, concordanti con quelle conclusioni naturali delle quali prima il senso manifesto o le dimostrazioni necessarie ci avesser resi certi e sicuri. Anzi, essendo, come ho detto, che le Scritture, ben che dettate dallo Spirito Santo, per l'addotte cagioni ammetton in molti luoghi esposizioni lontane dal suono litterale, e, di più, non potendo noi con certezza asserire che tutti gl'interpreti parlino ispirati divinamente, crederei che fusse prudentemente fatto²⁵ se non si permettesse ad alcuno l'impegnar i luoghi della Scrittura e obligargli in certo modo a dover sostenere per vere alcune conclusioni naturali, delle quali una volta il senso e le ragioni dimostrative e necessarie ci potessero manifestare il contrario²⁶. E chi vuol por termine a gli umani ingegni? chi vorrà asserire, già essersi saputo tutto quello che è al mondo di scibile? E per questo, oltre a gli articoli concernenti alla salute²⁷ ed allo stabilimento della Fede²⁸, contro la fermezza de' quali non è pericolo alcuno che possa insurger mai dottrina valida ed efficace, sarebbe forse ottimo consiglio il non ne aggiunger altri senza necessità: e se così è, quanto maggior disordine²⁹ sarebbe l'aggiugnerli a richiesta di persone, le quali, oltre che noi ignoriamo se parlino ispirate da celeste virtù, chiaramente vediamo ch'elleno³⁰ son del tutto ignude³¹ di quella intelligenza che sarebbe necessaria non dirò a redarguire³², ma a capire, le dimostrazioni con le quali le acutissime scienze procedono nel confermare alcune lor conclusioni? Io crederei che l'autorità delle Sacre Lettere avesse avuto solamente la mira a persuader a gli uomini quegli articoli e proposizioni, che, sendo necessarie per la salute loro e superando ogni umano discorso³³, non potevano per altra scienza né per altro mezzo

²⁰ Scelto.

²¹ Estranee allo scopo della Scrittura (indicare la via della salvezza).

²² Refrattario. La cosmologia tradizionale è più vicina al senso comune mentre l'idea del moto della terra avrebbe potuto apparire al popolo una vera bizzarria, rendendo la Bibbia meno credibile.

²³ Compito.

²⁴ Interpreti.

²⁵ Sarebbe opportuno.

²⁶ Molta cultura del tempo riteneva che l'autorità di Aristotele fosse più forte del ragionamento e della testimonianza dei sensi.

²⁷ Salvezza.

²⁸ La definizione da parte della Chiesa di ciò che deve esser creduto dal buon cristiano. Richiamandosi ai decreti del concilio di Trento, Galileo suggerisce che la chiesa non pretenda di imporre la propria interpretazione della Bibbia, se non riguardo a questioni morali e di fede, e dunque non nel campo della ricerca naturale.

²⁹ Cosa sconveniente.

³⁰ Esse.

³¹ Prive.

³² Criticare.

³³ Ragionamento.

farcisi credibili³⁴, che per la bocca dell'istesso Spirito Santo. Ma che quel medesimo Dio che ci ha dotati di sensi, di discorso e d'intelletto, abbia voluto, posponendo³⁵ l'uso di questi, darci con altro mezzo le notizie che per quelli possiamo conseguire, non penso che sia necessario il crederlo, e massime in quelle scienze delle quali una minima particella e in conclusioni divise se ne legge nella Scrittura³⁶; qual appunto è l'astronomia, di cui ve n'è così piccola parte, che non vi si trovano né pur nominati i pianeti, Però se i primi scrittori sacri avessero auto pensiero di persuader al popolo le disposizioni e movimenti de' corpi celesti, non ne avrebbon trattato così poco, che è come niente in comparazione dell'infinite conclusioni altissime e ammirande che in tale scienza si contengono».

Guida alla lettura

La lettera a Castelli è molto complessa, sia sintatticamente, sia concettualmente. Per facilitarne la comprensione ne ricostruiamo e commentiamo i passaggi più importanti.

Critica dell'interpretazione letterale della Bibbia e del "libero esame" (righe1-27)

Galileo sgombra subito il campo da possibili fraintendimenti della propria posizione: il testo sacro, - egli dice - in quanto ispirato da Dio non può contenere menzogne o errori ma in ogni suo aspetto è assolutamente vero. Può accadere, tuttavia, che sbagliano gli interpreti e il più grave e frequente degli errori è quello di attenersi al puro e semplice significato letterale: letto così, infatti il testo biblico ci appare pieno di contraddizioni, eresie e addirittura bestemmie, come quando vengono attribuite a Dio caratteristiche e difetti propri degli uomini. In questi casi - dice Galileo - lo scrittore sacro sceglie di esprimersi in un linguaggio comprensibile dal popolo, per offrirgli semplici precetti e una guida morale. A beneficio dei dotti, tuttavia, gli interpreti autorizzati ("i saggi espositori") devono poter svelare i significati veri e nascosti della Bibbia. Su questa prima parte della lettera si deve osservare quanto segue.

a) Criticando l'interpretazione letterale della Bibbia, Galileo vuole evidenziare la coerenza della propria posizione con i decreti del Concilio di Trento e con tutta la tradizione esegetica della chiesa cattolica, che aveva sempre ammesso una pluralità di significati del testo sacro. Il contrasto tra il significato letterale di alcuni passi della Bibbia e la dottrina copernicana - suggerisce implicitamente Galileo - non deve rappresentare una difficoltà per i cattolici, ma solo per i protestanti, che escludevano interpretazioni diverse dalla letterale. Come si ricorderà, contro la dottrina protestante aveva duramente polemizzato anche Giordano Bruno nella Cena delle ceneri (© testo ...). Certamente Galileo conosceva gli argomenti del Nolano. Dopo la condanna e il rogo del filosofo da parte della chiesa cattolica, tuttavia, non era opportuno citarne gli scritti.

b) Galileo riconosce apertamente alla Chiesa la responsabilità dell'esegesi, prendendo le distanze sia dalla tesi luterana del "libero esame", sia dalla dottrina di Averroè, che aveva rivendicato ai soli filosofi (e non ai teologi) la facoltà di interpretare i testi sacri.

³⁴ Diventare oggetto di fede.

³⁵ Trascurando.

³⁶ Affermazioni isolate, non sviluppate organicamente.

Scrittura Sacra e leggi naturali, “sensate esperienze” e “certe dimostrazioni” (righe 28-46).

Secondo Galilei è improprio ricorrere alla Bibbia nelle discussioni scientifico-naturali. E' di grande interesse l'argomentazione con la quale lo scienziato pisano sostiene questa tesi. Sia la Scrittura, sia la natura procedono dal Verbo divino: la prima in quanto “dettata” dello Spirito santo; la seconda, in quanto creata da Dio e “osservantissima” delle leggi (naturali) a lei imposte da creatore. Vi è però una differenza: la Scrittura per farsi capire da tutti si esprime in un linguaggio lontano dal vero, almeno nel suo significato letterale; la natura, invece, opera secondo leggi immutabili e non si cura affatto che queste leggi vengano comprese dagli uomini: per questo, non vi sono ragioni per cui essa “trasgredisca” l'ordine imposto da Dio: il linguaggio della natura è sempre veritiero. Il testo della Bibbia – in altre parole - non è vincolato in ogni suo versetto a un rigore pari a quello delle leggi naturali. In conclusione, se sappiamo “leggere” bene il “libro” della natura, cioè ci basiamo sull'osservazione sensibile (“sensate esperienze”) e sui ragionamenti matematici (“certe dimostrazioni”), non c'è ragione di dubitare delle teorie scientifiche così ottenute soltanto perché qualche passo della Bibbia apparentemente sembra dirci cose diverse.

Riguardo a questa parte della lettera è opportuno osservare come Galileo ci offra una sintetica descrizione della natura e del metodo per conoscerla scientificamente.

a) In questo passo galileiano si possono cogliere alcuni tratti peculiari modello meccanicista: il convincimento che la natura operi con assoluta regolarità, secondo ineluttabili leggi (di tipo geometrico-meccanico, anche se qui non è affermato esplicitamente) e il rifiuto dell'antropocentrismo, cioè dell'idea che l'ordine della natura sia finalizzato all'uomo e alla sua capacità di penetrarne il senso.

b) Quanto al metodo proposto, è quello matematico sperimentale, fatto di osservazione sistematica della natura e di procedimenti matematici

Scopo morale e salvifico della Scrittura (righe 46-58)

Galileo sviluppa poi ulteriormente il tema del rapporto tra scrittura e risultati della ricerca scientifica. La Bibbia – per non esser fraintesa dal popolo rozzo – vela perfino alcune fondamentali verità della fede (“dogmi”) e attribuisce a Dio caratteristiche (antropomorfe) estranee all'essenza divina, quando non contrastanti con essa. Non vi era dunque motivo perché lo scrittore sacro dovesse attenersi a un'espressione rigorosa parlando (per di più di sfuggita) della Terra o del Sole, o di qualche altra creatura; e ciò soprattutto perché quando parla del sole, della terra, ecc. la Bibbia affronta aspetti secondari rispetto allo suo scopo primario. Questo scopo è morale e salvifico e non scientifico: lo aveva detto Agostino, nel *De genesi ad litteram*, 2,9 : “ lo spirito di Dio non ha voluto insegnare agli uomini cose che non dovevano essere in alcun modo utili alla loro salvezza”; lo aveva ripetuto recentemente il cardinale Baronio (1538-1607), grande storico della Chiesa e superiore dell'ordine degli Oratoriani: “l'intenzione dello spirito è di insegnarci come si va in cielo e non come va il cielo”. Galileo suggerisce anzi che se la Bibbia avesse tematizzato rigorosamente (“con verità nuda e scoperta”) argomenti scientifici, ciò avrebbe potuto tradursi in un ostacolo per il conseguimento dello scopo primario della Rivelazione,

perché avrebbe reso il popolo recalcitrante a prestare orecchio agli insegnamenti della Bibbia riguardanti la salvezza (“salute”). Verosimilmente, una esplicita esposizione della vera struttura (copernicana) dell’universo da parte del testo sacro avrebbe suscitato incredulità tra i fedeli più umili; all’opposto, la cosmologia tradizionale appare più credibile al “vulgo” perché offre spiegazioni conformi all’esperienza quotidiana, nella quale vediamo il Sole a muoversi e non certo la Terra.

Soluzione del contrasto (apparente) della scienza con la Scrittura (righe 59-fine).

Ricapitolando. La Scrittura ha uno scopo morale, mentre la ricerca scientifica mira a conoscere con verità la natura creata da Dio e le leggi che egli le ha imposto. E’ indispensabile è rispettare i confini di questi due ambiti. Ciò – suggerisce Galileo - è possibile se le autorità ecclesiastiche si attengono a un duplice criterio.

a) La verità è una sola. Così dice Galileo escludendo ogni contrasto tra verità rivelata dalla Bibbia e verità di esperienza, anche per evitare che la propria tesi venga fraintesa con la supposta dottrina della “doppia verità”, attribuita agli averroismi. Ecco allora il primo criterio: nei casi di contrasto tra la lettera della Bibbia e le conclusioni scientifiche è necessario che i “saggi” interpreti (ecclesiastici) si sforzino di trovare i “veri sensi” dei testi biblici; e veri per Galileo sono soltanto i significati che concordano con l’ evidente esperienza e le dimostrazioni matematiche. Galileo si spinge anche oltre: saggezza vorrebbe – egli dice – che non fossero autorizzate dalla Chiesa come vere interpretazioni della Bibbia in contrasto con i risultati della ricerca scientifica.

b) Il secondo criterio suggerito da Galileo è quello di rifarsi scrupolosamente ai decreti del concilio di Trento, riguardanti la responsabilità della chiesa nel campo della interpretazione biblica. Che cosa aveva stabilito il concilio? Nel decreto conciliare dell’8 aprile 1546 leggiamo: “Nessuno, basandosi sulla propria saggezza, negli argomenti di fede e di costume che riguardano la fede cristiana, piegando la sacra scrittura secondo il proprio modo di vedere, osi interpretarla contro il senso che ha sempre ritenuto e ritiene la Santa Madre Chiesa, alla quale spetta giudicare del vero senso e dell’interpretazione delle sacre scritture, o anche contro l’unanime consenso dei padri”. Queste posizioni riprendevano quanto scritto a suo tempo scritto da Agostino, e ribadito nel Duecento da un maestro come Tommaso d’Aquino. Ora Galileo nella parte finale del testo chiede alla Chiesa cattolica di essere coerente con se stessa, rispettando i decreti conciliari: in essi, il divieto di interpretare liberamente la Bibbia (ossia il rifiuto del “libero esame”) è limitato alle questioni importanti per la fede e i costumi, tra le quali non rientrano la cosmologia e la fisica. La chiesa rifiutò la linea suggerita da Galileo e – nel 1616 - gli impose di abbandonare il copernicanesimo.

Proposte di lavoro

- Riassumete la posizione qui espressa da Galileo riguardo all’interpretazione della Bibbia, ricordandone gli argomenti più importanti
- Confrontate la posizione di Galileo con quella del cardinale Bellarmino (© testo 2a2) e con quella esposta nella “Prefazione” anteposta del teologo luterano A. Osiander al *De revolutionibus orbium coelestium* di Copernico (in Paolo Rossi, *La rivoluzione copernicana*, Loescher, Torino ...).

Punto 2a2**Verità e ipotesi: la posizione del card. Roberto Bellarmino**

Questa lettera di Bellarmino – gesuita, cardinale e inquisitore – indica la posizione della chiesa sull'interpretazione della Scrittura, chiarendo come la dottrina copernicana debba essere interpretata come un semplice modello astronomico.

Testo dalla Lettera a padre Foscarini

1) Mi pare che Vostra Paternità [Foscarini] et il sig. Galileo facciano prudentemente a contentarsi di parlare ex-supposizione e non assolutamente, come io ho sempre creduto che abbia parlato Copernico. Perché il dire che, supposto che la terra si muova et il sole stia fermo si salvano tutte le apparenze meglio che con porre gli eccentrici e gli epicicli, è benissimo detto, e non ha pericolo nessuno; e questo basta al matematico: ma volere affermare che realmente il sole stia nel centro del mondo, e solo si rivolti in se stesso senza correre dall'oriente all'occidente, e che la Terra stia nel 3° cielo e giri con somma velocità intorno al sole, è cosa molto pericolosa non solo d'irritare tutti i filosofi e theologi scholastici, ma anco di nuocere alla Santa Fede con rendere false le Scritture Sante [...]

2) Dico che, come lei sa, il Concilio proibisce di esporre le Scritture contro il comune consenso de' Santi Padri [...] Tutti convengono in esporre ad litteram, ch' il sole è nel cielo e gira intorno alla terra con somma velocità, e che la terra è lontanissima dal cielo e sta nel centro del mondo immobile. Né si può rispondere che questa non sia materia di fede, perché se non è materia di fede ex parte obiecti, è materia di fede ex parte dicentis .

3) Dico che quando ci fusse vera demonstratione che il sole stia nel centro del mondo ... allhora bisognerà andare con molta consideratione in esplicare le Scritture che paiono contrarie, e più tosto dire che non l'intendiamo, che dire che sia falso quello che si dimostra. Ma io non crederò che ci sia tal demonstratione, fin che non mi sia mostrata: né è l'istesso dimostrare che supposto ch'il sole stia nel centro e la terra nel cielo, si salvino le apparenze, e dimostrare che in verità il sole stia nel centro e la terra nel cielo; perchè la prima demonstratione credo che ci possa essere, ma della 2a ho grandissimo dubbio, ed in caso di dubbio non si dee lasciare la Scrittura Santa, esposta da' Santi Padri.

Proposte di lavoro

- Bellarmino distingue tra parlare ex-supposizione e parlare assolutamente: in che senso?
- **Approfondimento.** Bellarmino propone in questo testo un'interpretazione dei Decreti del concilio tridentino sull'esegesi della Bibbia. Spiegate il senso dell'interpretazione bellarminiana e discutetela, dopo esservi procurati il testo di tali decreti: è fondata, a vostro giudizio?

Punto 2a3**Perché non valgono le obiezioni tradizionali contro la rotazione della terra? L'esperienza del "gran naviglio"**

Presentiamo la famosa pagina del *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, in cui Galileo ricorre al famoso esperimento (mentale) del "gran naviglio" per confutare gli argomenti

tradizionalmente addotti contro il moto di rotazione della terra intorno al proprio asse, argomento della II giornata.

Testo dal Dialogo sopra i due massimi sistemi

Salviati: E qui, per ultimo sigillo della nullità di tutte le esperienze addotte mi par tempo e luogo di mostrar il modo di sperimentarle tutte facilissimamente. Riserratevi con qualche amico nella maggiore stanza che sia sotto coverta di alcun gran navilio, e quivi fate d'aver mosche, farfalle e simili animalletti volanti; siavi anco un gran vaso d'acqua, e dentrovi de' pescetti; sospendasi anco in alto qualche secchiello, che a goccia a goccia vadia versando dell'acqua in un altro vaso di angusta bocca, che sia posto a basso: e stando ferma la nave, osservate diligentemente come quelli animalletti volanti con pari velocità vanno verso tutte le parti della stanza; i pesci si vedranno andar notando indifferentemente per tutti i versi; le stille cadenti entreranno tutte nel vaso sottoposto; e voi, gettando all'amico alcuna cosa, non più gagliardamente la dovrete gettare verso quella parte che verso questa, quando le lontananze sieno eguali; e saltando voi, come si dice, a piè giunti, eguali spazii passerete verso tutte le parti. Osservate che avrete diligentemente tutte queste cose, benché niun dubbio ci sia che mentre il vassello sta fermo non debbano succeder così; fate muover la nave con quanta si voglia velocità; ché (pur che il moto sia uniforme e non fluttuante in qua e in là) voi non riconoscerete una minima mutazione in tutti li nominati effetti, né da alcuno di quelli potrete comprender se la nave cammina o pure sta ferma: voi saltando passerete nel tavolato i medesimi spazii che prima, né, perché la nave si muova velocissimamente, farete maggior salti verso la poppa che verso la prua benché, nel tempo che voi state in aria, il tavolato sottopostovi scorra verso la parte contraria al vostro salto; e gettando alcuna cosa al compagno, non con più forza bisognerà tirarla, per arrivarlo, se egli sarà verso la prua e voi verso poppa, che se voi fuste situati per l'opposito; le goccioline cadranno come prima nel vaso inferiore, senza caderne per una verso poppa, benché, mentre la gocciola è per aria, la nave scorra molti palmi; i pesci nella lor acqua non con più fatica noteranno verso la precedente che verso la susseguente parte del vaso, ma con pari agevolezza verranno al cibo posto su qualsivoglia luogo dell'orlo del vaso; e finalmente le farfalle e le mosche continueranno i lor voli indifferentemente verso tutte le parti, né mai accaderà che si riduchino verso la parte che riguarda la poppa, quasi che fussero stracche in tener dietro al veloce corso della nave, dalla quale per lungo tempo, trattenendosi per aria, saranno state separate; e se abbruciando alcuna lagrima d'incenso si farà un poco di fumo, vedrassi ascender in alto ed a guisa di nugoletta trattenervisi, e indifferentemente muoversi non più verso questa che quella parte. E di tutta questa corrispondenza d'effetti ne è cagione l'esser il moto della nave comune a tutte le cose contenute in essa ed all'aria ancora, che per ciò dissi io che si stesse sotto coverta; ché quando si stesse di sopra e nell'aria aperta e non seguace del corso della nave, differenze più e men notabili si vedrebbero in alcuni de' gli effetti nominati: e non è dubbio che il fumo resterebbe in dietro, quanto l'aria stessa; le mosche parimente e le farfalle, impedito dall'aria, non potrebb' seguire il moto della nave, quando da essa per spazio assai notevole si separassero; ma trattenendovisi vicine, perché la nave stessa, come di fabbrica anfrattuosissima, porta seco parte dell'aria sua prossima, senza intoppo o fatica seguirebbon la nave, e per simil cagione veggiamo talvolta, nel correr la posta, le mosche importune e i tafani seguir i

cavalli, volandogli ora in questa ed ora in quella parte del corpo; ma nelle goccioline cadenti pochissima sarebbe la differenza, e ne i salti e ne i proietti gravi, del tutto impercettibile.

Sagredo: Queste osservazioni, ancorché navigando non mi sia caduto in mente di farle a posta, tuttavia son più che sicuro che succederanno nella maniera raccontata: in confermazione di che mi ricordo essermi cento volte trovato, essendo nella mia camera, a domandar se la nave camminava o stava ferma, e tal volta, essendo sopra fantasia, ho creduto che ella andasse per un verso, mentre il moto era al contrario. Per tanto io sin qui resto sodisfatto e capacissimo della nullità del valore di tutte l'esperienze prodotte in provar più la parte negativa che l'affirmativa della conversion della Terra.

(da G. Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, Giornata seconda, cit.)

Proposte di lavoro

- In un breve testo scritto (15 righe), spiega perché l'esperienza del "gran naviglio" valga a confutare le obiezioni tradizionalmente addotte contro il movimento della terra.
- Nell'argomentazione di Galileo svolgono una funzione centrale alcuni principi della fisica moderna: quali? In che senso?

Punto 2a4

Perché non valgono le obiezioni tradizionali contro la rotazione della terra? La caduta di una pietra da una torre

In questo brano trovi la confutazione di una delle prove meccaniche portate dagli aristotelici a favore dell'immobilità della Terra: una pietra lasciata cadere dall'estremità di una torre cade a perpendicolo e non obliquamente come invece dovrebbe accadere se la terra si muovesse. Nel brano noterai riferimenti ai concetti rivoluzionari propri della fisica galileiana: il principio di inerzia, il principio di composizione dei movimenti, il principio di relatività. Troverai inoltre con quali osservazioni Galileo confuta l'idea aristotelica secondo la quale quando si lancia un sasso l'aria messa in movimento continua il processo di spinta fino al suo esaurimento.

Testo dal *Dialogo*

SALVIATI: [...] Dice dunque Aristotile, argomento certissimo dell'immobilità della Terra essere il veder noi i proietti in alto a perpendicolo ritornar per l'istessa linea nel medesimo luogo di dove furon tirati, e questo, quando bene il movimento fusse altissimo; il che non potrebbe accadere quando la Terra si movesse, perché nel tempo che 'l proietto si muove in su e 'n giù, separato dalla Terra, il luogo dove ebbe principio il moto del proietto scorrerebbe, mercè del rivolgimento della Terra, per lungo tratto verso levante, e per tanto spazio, nel cadere, il proietto percuoterebbe in Terra lontano dal detto luogo: sí che qui s'accomoda l'argomento della palla tirata in su coll'artiglieria, sí ancora l'altro usato da Aristotile e da Tolomeo, del vedere i gravi cadenti da grandi altezze venir per linea retta e perpendicolare alla superficie terrestre.

[...]

SALV.: Anzi desidero che voi ci continuiate, e tenghiate saldo che l'effetto della Terra abbia a rispondere a quel della nave, purché quando ciò si scoprisse pregiudiziale al vostro bisogno, non vi venisse umore di mutar pensiero. Voi dite: «Perché, quando la nave sta ferma, il sasso cade al piè dell'albero, e quando ell'è in moto cade lontano dal piede adunque, per il converso, dal cadere il sasso al piede si inferisce la nave star ferma, e dal caderne lontano s'argumenta la nave muoversi; e perché quello che occorre della nave deve parimente accader della Terra, però dal cader della pietra al piè della torre si inferisce di necessità l'immobilità del globo terrestre». Non è questo il vostro discorso?

SIMPLICIO: È per appunto, ridotto in brevità, che lo rende agevolissimo ad apprendersi.

SALV.: Or ditemi: se la pietra lasciata dalla cima dell'albero, quando la nave cammina con gran velocità, cadesse precisamente nel medesimo luogo della nave nel quale casca quando la nave sta ferma, qual servizio vi presterebber queste cadute circa l'assicurarvi se 'l vassello sta fermo o pur se cammina?

SIMP.: Assolutamente nissuno: in quel modo che, per esempio, dal batter del polso non si può conoscere se altri dorme o è desto, poiché il polso batte nell'istesso modo ne' dormienti che ne i vegghianti.

SALV.: Benissimo. Avete voi fatta mai l'esperienza della nave?

SIMP.: Non l'ho fatta; ma ben credo che quelli autori che la producono, l'abbiano diligentemente osservata: oltre che si conosce tanto apertamente la causa della disparità, che non lascia luogo di dubitare.

SALV.: Che possa esser che quelli autori la portino senza averla fatta, voi stesso ne sete buon testimonio, che senza averla fatta la recate per sicura e ve ne rimettete a buona fede al detto loro: sí come è poi non solo possibile, ma necessario, che abbiano fatto essi ancora, dico di rimettersi a i suoi antecessori, senza arrivar mai a uno che l'abbia fatta; perché chiunque la farà, troverà l'esperienza mostrar tutto 'l contrario di quel che viene scritto: cioè mostrerà che la pietra casca sempre nel medesimo luogo della nave, stia ella ferma o muovasi con qualsivoglia velocità. Onde, per esser la medesima ragione della Terra che della nave, dal cader la pietra sempre a perpendicolo al piè della torre non si può inferir nulla del moto o della quiete della Terra.

[...]

SIMP.: Che dunque voi non n'avete fatte cento, non che una prova, e l'affermate così francamente per sicura? Io ritorno nella mia incredulità, e nella medesima sicurezza che l'esperienza sia stata fatta da gli autori principali che se ne servono, e che ella mostri quel che essi affermano.

SALV.: Io senza esperienza son sicuro che l'effetto seguirà come vi dico, perché così è necessario che segua; e piú v'aggiungo che voi stesso ancora sapete che non può seguire altrimenti, se ben fingete, o simulate di fingere, di non lo sapere. Ma io son tanto buon cozzon di cervelli, che ve lo farò confessare a viva forza. Ma il signor Sagredo sta molto cheto: mi pareva pur di vedervi far non so che moto, per dir alcuna cosa.

SAGREDO: Volevo veramente dir non so che; ma la curiosità che mi ha mossa questo sentir dire di far tal violenza al signor Semplicio, che palesi la scienza che e' ci vuole occultare, mi ha fatto deporre ogni altro desiderio: però vi prego ad effettuare il vanto.

SALV.: Purché il signor Semplicio si contenti di rispondere alle mie interrogazioni, io non mancherò.

SIMP.: Io risponderò quel che saprò, sicuro che avrò poca briga, perché delle cose che io tengo false non credo di poterne saper nulla, essendoché la scienza è de' veri, e non de' falsi.

SALV.: Io non desidero che voi diciate o rispondiate di saper niente altro che quello che voi sicuramente sapete. Però ditemi: quando voi aveste una superficie piana, pulitissima come uno specchio e di materia dura come l'acciaio, e che fusse non parallela all'orizzonte, ma alquanto inclinata, e che sopra di essa voi poneste una palla perfettamente sferica e di materia grave e durissima, come, verbigrazia, di bronzo, lasciata in sua libertà che credete voi che ella facesse? non credete voi (sí come credo io) che ella stesse ferma?

SIMP.: Se quella superficie fusse inclinata?

SALV.: Sí, ché cosí già ho supposto.

SIMP.: Io non credo che ella si fermasse altrimenti, anzi pur son sicuro ch'ella si moverebbe verso il declive spontaneamente.

SALV.: Avvertite bene a quel che voi dite, signor Simplicio, perché io son sicuro ch'ella si fermerebbe in qualunque luogo voi la posaste.

SIMP.: Come voi, signor Salviati, vi servite di questa sorte di supposizioni, io comincerò a non mi maravigliar che voi concludiate conclusioni falsissime.

SALV.: Avete dunque per sicurissimo ch'ella si moverebbe verso il declive spontaneamente?

SIMP.: Che dubbio?

SALV.: E questo lo tenete per fermo, non perché io ve l'abbia insegnato (perché io cercavo di persuadervi il contrario), ma per voi stesso e per il vostro giudizio naturale.

SIMP.: Ora intendo il vostro artificio: voi dicevi cosí per tentarmi e (come si dice dal vulgo) per iscalzarmi, ma non che in quella guisa credeste veramente.

SALV.: Cosí sta. E quanto durerebbe a muoversi quella palla, e con che velocità? E avvertite che io ho nominata una palla perfettissimamente rotonda ed un piano esquisitamente pulito, per rimuover tutti gli impedimenti esterni ed accidentarii: e cosí voglio che voi astragghiate dall'impedimento dell'aria, mediante la sua resistenza all'essere aperta, e tutti gli altri ostacoli accidentarii, se altri ve ne potessero essere.

SIMP.: Ho compreso il tutto benissimo: e quanto alla vostra domanda, rispondo che ella continuerebbe a muoversi in infinito, se tanto durasse la inclinazione del piano, e con movimento accelerato continuamente; ché tale è la natura de i mobili gravi, che vires acquirant eundo: e quanto maggior fusse la declività, maggior sarebbe la velocità.

SALV.: Ma quand'altri volesse che quella palla si movesse all'insú sopra quella medesima superficie, credete voi che ella vi andasse?

SIMP.: Spontaneamente no, ma ben strascinatavi o con violenza gettatavi.

SALV.: E quando da qualche impeto violentemente impressole ella fusse spinta, quale e quanto sarebbe il suo moto?

SIMP.: Il moto andrebbe sempre languendo e ritardandosi, per esser contro a natura, e sarebbe piú lungo o piú breve secondo il maggiore o minore impulso e secondo la maggiore o minore acclività.

SALV.: Parmi dunque sin qui che voi mi abbiate esplicati gli accidenti d'un mobile sopra due diversi piani; e che nel piano inclinato il mobile grave spontaneamente scende e va continuamente accelerandosi, e che a ritenervelo in quiete bisogna usarvi forza; ma sul

piano ascendente ci vuol forza a spignervelo ed anco a fermavelo, e che 'l moto impressogli va continuamente scemando, sí che finalmente si annichila. Dite ancora di piú che nell'un caso e nell'altro nasce diversità dall'esser la declività o acclività del piano, maggiore o minore; sí che alla maggiore inclinazione segue maggior velocità, e, per l'opposito, sopra 'l piano acclive il medesimo mobile cacciato dalla medesima forza in maggior distanza si muove quanto l'elevazione è minore. Ora ditemi quel che accaderebbe del medesimo mobile sopra una superficie che non fusse né acclive né declive.

SIMP.: Qui bisogna ch'io pensi un poco alla risposta. Non vi essendo declività, non vi può essere inclinazione naturale al moto, e non vi essendo acclività, non vi può esser resistenza all'esser mosso, talché verrebbe ad essere indifferente tra la propensione e la resistenza al moto: parmi dunque che e' dovrebbe restarvi naturalmente fermo. Ma io sono smemorato, perché non è molto che 'l signor Sagredo mi fece intender che cosí seguirebbe.

SALV.: Cosí credo, quando altri ve lo posasse fermo; ma se gli fusse dato impeto verso qualche parte, che seguirebbe?

SIMP.: Seguirebbe il muoversi verso quella parte.

SALV.: Ma di che sorte di movimento? di continuamente accelerato, come ne' piani declivi, o di successivamente ritardato, come negli acclivi?

SIMP.: Io non ci so scorgere causa di accelerazione né di ritardamento, non vi essendo né declività né acclività.

SALV.: Sì. Ma se non vi fusse causa di ritardamento, molto meno vi dovrebbe esser di quiete: quanto dunque vorreste voi che il mobile durasse a muoversi?

SIMP.: Tanto quanto durasse la lunghezza di quella superficie né erta né china.

SALV.: Adunque se tale spazio fusse interminato, il moto in esso sarebbe parimente senza termine, cioè perpetuo?

SIMP.: Parmi di sí, quando il mobile fusse di materia da durare.

SALV.: Già questo si è supposto, mentre si è detto che si rimuovano tutti gl'impedimenti accidentarii ed esterni, e la fragilità del mobile, in questo fatto, è un degli impedimenti accidentarii. Ditemi ora: quale stimate voi la cagione del muoversi quella palla spontaneamente sul piano inclinato, e non, senza violenza, sopra l'elevato?

SIMP.: Perché l'inclinazion de' corpi gravi è di muoversi verso 'l centro della Terra, e solo per violenza in su verso la circonferenza; e la superficie inclinata è quella che acquista vicinità al centro, e l'acclive discostamento.

SALV.: Adunque una superficie che dovesse esser non declive e non acclive, bisognerebbe che in tutte le sue parti fusse egualmente distante dal centro. Ma di tali superficie ve n'è egli alcuna al mondo?

SIMP.: Non ve ne mancano: ècci quella del nostro globo terrestre, se però ella fusse ben pulita, e non, quale ella è, scabrosa e montuosa; ma vi è quella dell'acqua, mentre è placida e tranquilla.

SALV.: Adunque una nave che vadia movendosi per la bonaccia del mare, è un di quei mobili che scorrono per una di quelle superficie che non sono né declivi né acclivi, e però disposta, quando le fusser rimossi tutti gli ostacoli accidentarii ed esterni, a muoversi, con l'impulso concepito una volta, incessabilmente e uniformemente

SIMP.: Par che deva esser cosí.

SALV.: E quella pietra ch'è su la cima dell'albero non si muov'ella, portata dalla nave, essa ancora per la circonferenza d'un cerchio intorno al centro, e per conseguenza d'un moto indelebile in lei, rimossi gli impedimenti esterni? e questo moto non è egli così veloce come quel della nave?

SIMP.: Sin qui tutto cammina bene. Ma il resto?

SALV.: Cavatene in buon'ora l'ultima conseguenza da per voi, se da per voi avete sapute tutte le premesse.

SIMP.: Voi volete dir per ultima conclusione, che movendosi quella pietra d'un moto indelebilmente impressole, non l'è per lasciare, anzi è per seguire la nave, ed in ultimo per cadere nel medesimo luogo dove cade quando la nave sta ferma; e così dico io ancora che seguirebbe quando non ci fussero impedimenti esterni, che sturbassero il movimento della pietra dopo esser posta in libertà: li quali impedimenti son due; l'uno è l'essere il mobile impotente a romper l'aria col suo impeto solo, essendogli mancato quello della forza de' remi, del quale era partecipe, come parte della nave, mentre era su l'albero; l'altro è il moto novello del cadere a basso, che pur bisogna che sia d'impedimento all'altro progressivo.

SALV.: Quanto all'impedimento dell'aria, io non ve lo nego; e quando il cadente fusse materia leggiera, come una penna o un fiocco di lana, il ritardamento sarebbe molto grande; ma in una pietra grave, è piccolissimo: e voi stesso poco fa avete detto che la forza del più impetuoso vento non basta a muover di luogo una grossa pietra; or pensate quel che farà l'aria quieta incontrata dal sasso, non più veloce di tutto 'l navilio. Tuttavia, come ho detto, vi concedo questo piccolo effetto, che può dependere da tale impedimento; sì come so che voi concederete a me che quando l'aria si movesse con l'istessa velocità della nave e del sasso, l'impedimento sarebbe assolutamente nullo. Quanto all'altro, del sopravveniente moto in giù, prima è manifesto che questi due, dico il circolare intorno al centro e 'l retto verso 'l centro, non son contrarii né destruttivi l'un dell'altro né incompatibili, perché, quanto al mobile, ei non ha repugnanza alcuna a cotal moto: ché già voi stesso avete concesso, la repugnanza esser contro al moto che allontana dal centro, e l'inclinazione, verso il moto che avvicina al centro; onde necessariamente segue che al moto che non appressa né discosta dal centro, non ha il mobile né repugnanza né propensione né, in conseguenza, cagione di diminuirsi in lui la facultà impressagli: e perché la causa motrice non è una sola, che si abbia, per la nuova operazione, a inlanguidire, ma son due tra loro distinte, delle quali la gravità attende solo a tirare il mobile al centro, e la virtù impressa a condurlo intorno al centro, non resta occasione alcuna d'impedimento.

SIMP.: Il discorso veramente è in apparenza assai probabile, ma in essenza turbato un poco da qualche intoppo mal agevole a superarsi. Voi in tutto 'l progresso avete fatta una supposizione, che dalla scuola peripatetica non di leggiero vi sarà concessa, essendo contrariissima ad Aristotile: e questa è il prender come cosa notoria e manifesta che 'l proietto separato dal proiciente continui il moto per virtù impressagli dall'istesso proiciente, la qual virtù impressa è tanto esosa nella peripatetica filosofia, quanto il passaggio d'alcuno accidente d'uno in un altro soggetto: nella qual filosofia si tiene, come credo che vi sia noto, che 'l proietto sia portato dal mezo, che nel nostro caso viene ad esser l'aria e però se quel sasso, lasciato dalla cima dell'albero, dovesse seguire il moto della nave, bisognerebbe attribuire tal effetto all'aria, e non a virtù impressagli: ma voi

supponete che l'aria non séguiti il moto della nave, ma sia tranquilla. Oltre che colui che lo lascia cadere, non l'ha a scagliare né dargli impeto col braccio, ma deve semplicemente aprir la mano e lasciarlo: e così, né per virtù impressagli dal proiciente, né per beneficio dell'aria, potrà il sasso seguire 'l moto della nave, e però resterà indietro.

SALV.: Parmi dunque di ritrar dal vostro parlare, che non venendo la pietra cacciata dal braccio di colui, la sua non venga altrimenti ad essere una proiezione.

SIMP.: Non si può propriamente chiamar moto di proiezione.

[...]

SALV.: Orsú tutto in buon'ora. Ma ditemi: già che la vostra istanza si fonda tutta su la nullità della virtù impressa, quando io vi abbia dimostrato che 'l mezo non ha che fare nella continuazion del moto de' proietti, dopo che son separati dal proiciente, lascerete voi in essere la virtù impressa, o pur vi moverete con qualch'altr'assalto alla sua distruzione?

SIMP.: Rimossa l'azione del mezo, non veggo che si possa ricorrere ad altro che alla facultà impressa dal movente.

SALV.: Sarà bene, per levare il piú che sia possibile le cause dell'andarsene in infinito con le altercazioni, che voi quanto si può distintamente spianiate qual sia l'operazione del mezo nel continuar il moto al proietto.

SIMP.: Il proiciente ha il sasso in mano; muove con velocità e forza il braccio, al cui moto si muove non piú il sasso che l'aria circonvicina, onde il sasso, nell'esser abbandonato dalla mano, si trova nell'aria che già si muove con impeto, e da quella vien portato: che se l'aria non operasse, il sasso cadrebbe dalla mano al piede del proiciente.

SALV.: E voi sete stato tanto credulo che vi sete lasciato persuader queste vanità, mentre in voi stesso avevi i sensi da confutarle e da intenderne il vero? Però ditemi: quella gran pietra e quella palla d'artiglieria che, posata solamente sopra una tavola, restava immobile contro a qualsivoglia impetuoso vento, secondo che voi poco fa affermaste, se fusse stata una palla di sughero o altrettanta bambagia, credete che il vento l'avesse mossa di luogo?

SIMP.: Anzi so certo che l'averebbe portata via, e tanto piú velocemente, quanto la materia fusse stata piú leggiera; ché per questo veggiamo noi le nugole esser portate con velocità pari a quella del vento stesso che le spigne.

SALV.: E 'l vento che cosa è?

SIMP.: Il vento si definisce, non esser altro che aria mossa.

SALV.: Adunque l'aria mossa molto piú velocemente e 'n maggior distanza traporta le materie leggierissime che le gravissime?

SIMP.: Sicuramente.

SALV.: Ma quando voi aveste a scagliar col braccio un sasso, e poi un fiocco di bambagia, chi si moverebbe con piú velocità e in maggior lontananza?

SIMP.: La pietra assaissimo; anzi la bambagia mi cascherebbe a i piedi.

SALV.: Ma se quel che muove il proietto, doppo l'esser lasciato dalla mano, non è altro che l'aria mossa dal braccio, e l'aria mossa piú facilmente spigne le materie leggierie che le gravi, come dunque il proietto di bambagia non va piú lontano e piú veloce di quel di pietra? bisogna pure che nella pietra resti qualche cosa, oltre al moto dell'aria. Di piú, se da quella trave pendessero due spaghi lunghi egualmente, e in capo dell'uno fusse attaccata una palla di piombo, e una di bambagia nell'altro, ed amendue si allontanassero egualmente dal perpendicolo, e poi si lasciassero in libertà, non è dubbio che l'una e l'altra

si moverebbe verso 'l perpendicolo, e che spinta dal proprio impeto lo trapasserebbe per certo intervallo, e poi vi ritornerebbe. Ma qual di questi due penduli credete voi che durasse piú a muoversi, prima che fermarsi a piombo?

SIMP.: La palla di piombo andrà in qua e 'n là mille volte, e quella di bambagia dua o tre al piú.

SALV.: Talché quell'impeto e quella mobilità, qualunque se ne sia la causa, piú lungamente si conserva nelle materie gravi che nelle leggieri. Vengo ora a un altro punto, e vi domando: perché l'aria non porta via adesso quel cedro ch'è su quella tavola?

SIMP.: Perché ella stessa non si muove.

SALV.: Bisogna dunque che il proiciente conferisca il moto all'aria, col quale ella poi muova il proietto. Ma se tal virtù non si può imprimere, non si potendo far passare un accidente d'un subbietto in un altro, come può passare dal braccio nell'aria? non è forse l'aria un subbietto altro dal braccio?

SIMP.: Rispondesi che l'aria, per non esser né grave né leggiera nella sua regione, è disposta a ricevere facilissimamente ogni impulso ed a conservarlo ancora.

SALV.: Ma se i penduli adesso adesso ci hanno mostrato che il mobile, quanto meno partecipa di gravità, tanto è meno atto a conservare il moto, come potrà essere che l'aria, che in aria non ha punto di gravità, essa sola conservi il moto concepito? Io credo, e so che voi ancora credete al presente, che non prima si ferma il braccio, che l'aria attornogli. Entriamo in camera, e con uno sciugatoio agitiamo quanto piú si possa l'aria, e fermato il panno conducasi una piccola candeletta accesa nella stanza, o lascivisi andare una foglia d'oro volante; che voi dal vagar quieto dell'una e dell'altra v'accorgerete dell'aria ridotta immediatamente a tranquillità. Io potrei addurvi mille esperienze, ma dove non bastasse una di queste, si potrebbe aver la cura per disperata affatto.

SAGR. Quando si tira una freccia contr'al vento, quanto è incredibil cosa che quel filetto d'aria, spinto dalla corda vadia al dispetto della fortuna accompagnando la freccia! Ma io ancora vorrei sapere un particolare da Aristotile, per il quale prego il signor Simplicio che mi favorisca di risposta. Quando col medesimo arco fussero tirate due frecce, una per punta al modo consueto, e l'altra per traverso, cioè posandola per lo lungo su la corda, e cosí distesa tirandola, vorrei sapere qual di esse andrebbe piú lontana. Favoritemi in grazia di risposta, benché forse la dimanda vi paia piú tosto ridicola che altrimenti; e scusatemi, perché io, che ho, come voi vedete, anzi del grossetto che no, non arrivo piú in alto con la mia speculativa.

SIMP.: Io non ho veduto mai tirar le frecce per traverso: tuttavia credo che intraversata non andrebbe né anco la ventesima parte di quel ch'ella va per punta.

SAGR. E perché io ho creduto l'istesso, quindi è che mi è nata occasione di metter dubbio tra 'l detto d'Aristotile e l'esperienza. Perché, quanto all'esperienza, s'io metterò sopra quella tavola due frecce in tempo che spiri vento gagliardo, una posata per il filo del vento e l'altra intraversata il vento porterà via speditamente questa e lascerà star l'altra: ed il medesimo par che dovesse accadere, quando la dottrina d'Aristotile fusse vera, delle due tirate con l'arco; imperocché la traversa vien cacciata da una gran quantità dell'aria mossa dalla corda, cioè da tanta quanta è la sua lunghezza, dove che l'altra freccia non riceve impulso da piú aria che si sia il piccolissimo cerchietto della sua grossezza: ed io non so immaginarmi la cagione di tal diversità, e desidererei di saperla.

SIMP.: La causa mi par assai manifesta, ed è perché la freccia tirata per punta ha a penetrar poca quantità d'aria, e l'altra ne ha da fender tanta quanta è tutta la sua lunghezza.

SAGR.: Adunque le frecce tirate hanno a penetrar l'aria? Oh se l'aria va con loro, anzi è quella che le conduce, che penetrazione vi può essere? non vedete voi che a questo modo bisognerebbe che la freccia si movesse con maggior velocità che l'aria? e questa maggior velocità, chi la conferisce alla freccia? vorrete voi dir che l'aria le dia velocità maggiore della sua propria? Intendete dunque, signor Simplicio, che 'l negozio procede per l'appunto a rovescio di quel che dice Aristotile, e che tanto è falso che 'l mezzo conferisca il moto al proietto, quanto è vero che egli solo è che gli arreca impedimento: e inteso questo, intenderete senza trovar difficoltà che quando l'aria si muove veramente, molto meglio porta seco la freccia per traverso che per lo dritto, perché molta è l'aria che la spigne in quella postura, e pochissima in questa; ma tirate con l'arco, perché l'aria sta ferma, la freccia traversa, percotendo in molt'aria, molto viene impedita, e l'altra per punta facilissimamente supera l'ostacolo della minima quantità d'aria che se le oppone.

SALV.: Quante proposizioni ho io notate in Aristotile (intendendo sempre nella filosofia naturale), che sono non pur false, ma false in maniera, che la sua diametralmente contraria è vera, come accade di questa! Ma seguitando il nostro proposito, credo che il signor Simplicio resti persuaso che dal veder cader la pietra nel medesimo luogo sempre, non si possa conietturare circa il moto o la stabilità della nave; e quando il detto sin qui non gli bastasse, ci è l'esperienza di mezzo, che lo potrà del tutto assicurare: nella quale esperienza, al più che e' potesse vedere, sarebbe il rimanere indietro il mobile cadente, quando e' fusse di materia assai leggiera e che l'aria non seguisse il moto della nave; ma quando l'aria si movesse con pari velocità, niuna immaginabil diversità si troverebbe né in questa né in qualsivoglia altra esperienza, come appresso son per dirvi. Or, quando in questo caso non apparisca diversità alcuna, che si deve pretendere di veder nella pietra cadente dalla sommità della torre, dove il movimento in giro è alla pietra non avventizio e accidentario, ma naturale ed eterno, e dove l'aria segue puntualmente il moto della torre, e la torre quel del globo terrestre? Avete voi, signor Simplicio, da replicar altro sopra questo particolare?

SIMP.: Non altro, se non che non veggio sin qui provata la mobilità della Terra.

SALV.: Né io tampoco ho preteso di provarla, ma solo di mostrare come dall'esperienza portata da gli avversarii per argomento della fermezza non si può cavar nulla; sí come credo mostrar dell'altre.

Proposte di lavoro

- Questo lungo brano tocca più argomenti collegati tra di loro: sintetizza il brano dopo averlo suddiviso nella maniera che ritieni più opportuna.
- In quale modo, con quali domande Salviati, da buon domatore di cervelli, porta Simplicio ad affermare che in assenza di impedimenti esterni un corpo che si trova in movimento vi permane indefinitamente?
- Successivamente, in quale modo Salviati porta Simplicio ad affermare che la pietra, anche nel caso in cui la nave sia in movimento, cadrà nel medesimo luogo dove cade quando la nave è ferma? Quali "impedimenti" solleva però Simplicio subito dopo?

- Come veniva spiegato dagli aristotelici il movimento di un oggetto lanciato? Con quali ragionamenti Salviati critica l'idea che l'aria conferisca moto all'oggetto lanciato?
- Uno dei contributi più importanti della cultura medioevale alla fisica del moto è la teoria dell'impeto: in cosa consiste? Un testo a cui puoi fare riferimento è ad esempio: M. Gliozzi, *Storia della fisica*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2005.
- L'argomento della torre viene in pratica confutato attraverso quello che noi oggi chiamiamo "il principio della relatività galileiana". Enuncia tale principio come viene oggi presentato mostrandone il legame con l'argomento della torre e l'esperienza del sasso lasciato cadere dall'albero della nave. Puoi fare riferimento anche al brano del "gran navilio" che hai letto in 2a4.
- Alla luce del brano appena letto e di altri da te conosciuti, esponi alcune riflessioni sull'importanza assegnata da Galileo sia ai ragionamenti rigorosamente corretti sia alle esperienze effettivamente eseguite.
- Approfondimento. Esponi la fisica del moto secondo Aristotele. Un testo a cui puoi fare riferimento è ad esempio: M. Gliozzi, *Storia della fisica*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2005. E' opportuno toccare i seguenti punti: zona celeste e zona terrestre, i quattro elementi e l'etere, i cambiamenti nella sfera sublunare e nel mondo celeste, il moto naturale e il moto violento.

Punto 2a5

Perché non valgono le obiezioni tradizionali contro la rotazione della terra? I tiri di artiglieria

Qui di seguito vi è la confutazione di Galileo di un'altra prova portata dagli aristotelici a favore dell'immobilità della Terra: secondo questi ultimi dal fatto che i tiri di cannone producono gittate uguali quando vengono sparati verso Est o verso Ovest si deve dedurre che la Terra è ferma. Vediamo come Galileo scioglie questo nodo con il paragone della carrozza in corsa dalla quale si lanciano delle frecce.

Testo dal *Dialogo*:

SALVIATI: [...] cercheremo di dar soddisfazione al signor Simplicio nell'altre, col mostrargli, al modo solito, che egli stesso ha le soluzioni in mano, se bene non se n'accorge. E facendo principio da i tiri di volata, fatti, col medesimo pezzo polvere e palla, l'uno verso oriente e l'altro verso occidente, dicami qual cosa sia quella che lo muove a credere che 'l tiro verso occidente (quando la revoluzione diurna fusse del globo terrestre) dovrebbe riuscir più lungo assai che l'altro verso levante.

SIMPLICIO: Muovomi a così credere, perché nel tiro verso levante la palla, mentre che è fuori dell'artiglieria, viene seguita dall'istessa artiglieria, la quale, portata dalla Terra pur velocemente corre verso la medesima parte, onde la caduta della palla in terra vien poco lontana dal pezzo. All'incontro nel tiro occidentale, avanti che la palla percuota in terra, il pezzo si è ritirato assai verso levante, onde lo spazio tra la palla e'l pezzo, cioè il tiro, apparirà più lungo dell'altro quanto sarà stato il corso dell'artiglieria, cioè della Terra, ne' tempi che amendue le palle sono state per aria.

SALV.: Io vorrei che noi trovassimo qualche modo di far una esperienza corrispondente al moto di questi proietti, come quella della nave al moto de i cadenti da alto a basso, e vo pensando la maniera.

SAGR. Credo che prova assai accomodata sarebbe il pigliare una carrozzetta scoperta, ed accomodare in essa un balestrone da bolzoni a meza elevazione, acciò il tiro riuscisse il massimo di tutti, e mentre i cavalli corressero, tirare una volta verso la parte dove si corre, e poi un'altra verso la contraria, facendo benissimo notare dove si trova la carrozza in quel momento di tempo che 'l bolzone si ficca in terra, sí nell'uno come nell'altro tiro; ché cosí potrà vedersi per appunto quanto l'uno riesce maggior dell'altro.

SIMP.: Parmi che tale esperienza sia molto accomodata; e non ho dubbio che 'l tiro, cioè che lo spazio tra la freccia e dove si trova la carrozza nel momento che la freccia si ficca in terra, sarà minore assai quando si tira verso il corso della carrozza, che quando si tira per l'opposito. Sia, per esempio, il tiro in se stesso trecento braccia, e 'l corso della carrozza, nel tempo che il bolzone sta per aria, sia braccia cento: adunque, tirandosi verso il corso, delle trecento braccia del tiro la carrozzetta ne passa cento, onde nella percossa del bolzone in terra lo spazio tra esso e la carrozza sarà braccia dugento solamente; ma all'incontro nell'altro tiro, correndo la carrozza al contrario del bolzone, quando il bolzone arà passate le sue trecento braccia e la carrozza le sua cento altre in contrario, la distanza traposta si troverà esser di braccia quattrocento.

SALV.: Sarebbe'egli modo alcuno per far che questi tiri riuscissero eguali?

SIMP.: Io non saprei altro modo che col far star ferma la carrozza.

SALV.: Questo si sa: ma io domando, facendo correr la carrozza a tutto corso.

SIMP.: Chi non ingagliardisse l'arco nel tirar secondo il corso, e poi l'indebolisse per tirar contro al corso.

SALV.: Ecco dunque che pur ci è qualch'altro rimedio. Ma quanto bisognerebbe ingagliardirlo di piú, e quanto poi indebolirlo?

SIMP.: Nell'esempio nostro, dove aviamo supposto che l'arco tirasse trecento braccia, bisognerebbe, per il tiro verso il corso, ingagliardirlo sí che tirasse braccia quattrocento, e per l'altro indebolirlo tanto che non tirasse piú di dugento, perché cosí l'uno e l'altro tiro riuscirebbe di braccia trecento in relazione alla carrozza, la quale col suo corso di cento braccia, che ella sottrarrebbe al tiro delle quattrocento e l'aggiugnerebbe a quel delle dugento, verrebbe a ridurgli amendue alle trecento.

SALV.: Ma che effetto fa nella freccia la maggior o minor gagliardia dell'arco?

SIMP.: L'arco gagliardo la caccia con maggior velocità, e 'l piú debole con minore; e l'istessa freccia va tanto piú lontana una volta che l'altra, con quanta maggior velocità ella esce della cocca l'una volta che l'altra.

SALV.: Talché per far che la freccia tirata tanto per l'uno quanto per l'altro verso s'allontani egualmente dalla carrozza corrente, bisogna che se nel primo tiro dell'esempio proposto ella si parte, verbigrazia, con quattro gradi di velocità, nell'altro tiro ella si parta con due solamente. Ma se si adopra il medesimo arco, da esso ne riceve sempre tre gradi.

SIMP.: Cosí è; e per questo, tirando con l'arco medesimo, nel corso della carrozza i tiri non posson riuscire eguali.

SALV.: Mi ero scordato di domandar con che velocità si suppone, pur in questa esperienza particolare, che corra la carrozza.

SIMP.: La velocità della carrozza bisogna supporla di un grado, in comparazione di quella dell'arco, che è tre.

SALV.: Sí, sí, cosí torna il conto giusto. Ma ditemi: quando la carrozza corre, non si muovono ancora con la medesima velocità tutte le cose che son nella carrozza?

SIMP.: Senza dubbio.

SALV.: Adunque il bolzone ancora, e l'arco, e la corda su la quale è teso.

SIMP.: Cosí è.

SALV.: Adunque, nello scaricare il bolzone verso il corso della carrozza l'arco imprime i suoi tre gradi di velocità in un bolzone che ne ha già un grado, mercé della carrozza che verso quella parte con tanta velocità lo porta, talché nell'uscir della cocca e' si trova con quattro gradi di velocità; ed all'incontro, tirando per l'altro verso, il medesimo arco conferisce i suoi medesimi tre gradi in un bolzone che si muove in contrario con un grado, talché nel separarsi dalla corda non gli restano altro che dua soli gradi di velocità. Ma già voi stesso avete depresso che per fare i tiri eguali bisogna che il bolzone si parta una volta con quattro gradi e l'altra con due: adunque, senza mutar arco, l'istesso corso della carrozza è quello che aggiusta le partite, e l'esperienza è poi quella che le sigilla a coloro che non volessero o non potessero esser capaci della ragione. Ora applicate questo discorso all'artiglieria, e troverete che, muovasi la Terra o stia ferma, i tiri fatti dalla medesima forza hanno a riuscir sempre eguali, verso qualsivoglia parte indirizzati. L'errore di Aristotile, di Tolomeo, di Ticone, vostro, e di tutti gli altri, ha radice in quella fissa e inveterata impressione, che la Terra stia ferma, della quale non vi potete o sapete spogliare né anco quando volete filosofare di quel che seguirebbe, posto che la Terra si movesse; e cosí nell'altro argomento, non considerando che mentre che la pietra è su la torre, fa, circa il muoversi o non muoversi, quel che fa il globo terrestre, perché avete fisso nella mente che la Terra stia ferma, discorrete intorno alla caduta del sasso sempre come se si partisse dalla quiete, dove che bisogna dire: Se la Terra sta ferma, il sasso si parte dalla quiete e scende perpendicolarmente; ma se la Terra si muove, la pietra altresí si muove con pari velocità, né si parte dalla quiete, ma dal moto eguale a quel della Terra, col quale mescola il sopravveniente in giù e ne compone un trasversale.

SIMP.: Ma, Dio buono, come, se ella si muove trasversalmente, la veggio io muoversi rettamente e perpendicolarmente? questo è pure un negare il senso manifesto; e se non si deve credere al senso, per qual altra porta si deve entrare a filosofare?

SALV.: Rispetto alla Terra, alla torre e a noi, che tutti di conserva ci moviamo, col moto diurno, insieme con la pietra, il moto diurno è come se non fusse, resta insensibile, resta impercettibile, è senza azione alcuna, e solo ci resta osservabile quel moto del quale noi manchiamo, che è il venire a basso lambendo la torre. Voi non sete il primo che senta gran repugnanza in apprendere questo nulla operar il moto tra le cose delle quali egli è comune.

Proposte di lavoro

- Sintetizza il brano evidenziando attraverso quale paragone e con quale ragionamento Salviati sostiene che neppure i tiri di artiglieria possono essere considerati una prova dell'immobilità della Terra.
- Enuncia il principio di composizione delle velocità e mostrane alcune applicazioni.

- Due treni A e B viaggiano su binari paralleli, in versi opposti, con velocità di modulo $v_A=90\text{km/h}$ e $v_B=60\text{ km/h}$. Mentre i due treni si incrociano, un viaggiatore sul treno A lancia orizzontalmente una bottiglia dal finestrino, perpendicolarmente al treno, con modulo della velocità $u=30\text{km/h}$. Si determini il modulo della velocità U della bottiglia per un viaggiatore sul treno B. (dal testo di S. Rosati e R. Casali, *Problemi di fisica generale*, Casa Editrice Ambrosiana).
- Un aereo deve raggiungere una località situata a 1152 km a nord rispetto al punto di decollo. La sua velocità di crociera, valutata rispetto all'aria ferma, è 170 m/s. Il pilota osserva che, per muoversi secondo la direzione nord, l'aereo deve puntare secondo una direzione che forma un angolo di α gradi verso sinistra. Supponendo che questo orientamento sia determinato da un vento che soffia costantemente da sinistra a destra, se ne determini la velocità sapendo che il viaggio dura esattamente 2 ore. (dal testo di Bergamaschini, Marazzini, Mazzoni, *La conoscenza del mondo fisico*, Carlo Signorelli Editore).

2b. Astronomia e fisica. Antica e moderna.

Punto 2b1

Platone e il problema dei pianeti

Nel testo, tratto dalle *Leggi*, Platone detta agli astronomi – contro il naturalismo – le “regole” cui deve attenersi l’indagine sugli astri: questi ultimi non possono che muoversi di moto circolare uniforme

Testo dalle *Leggi*

Ateniese: Riguardo agli astri accade uno straordinario e grande portento e in nessun modo assolutamente tollerabile.

Clinia: Qual è?

Ateniese: Si dice [...] che non bisogna indagare sulla natura del dio maggiore e di tutto l’universo, che non bisogna darsi da fare a cercare le cause [...]. Quello che dico è una cosa contraria all’opinione generale e si potrebbe pensare anche sconveniente ai vecchi, d’altra parte poiché uno ritiene una conoscenza bella, vera, utile allo stato, e assolutamente gradita alla divinità, non può in nessun modo tacerne.

Clinia: Mi par giusto, ma quale conoscenza di tal fatta potremo trovare per gli astri?

Ateniese: Carissimi, ora noi greci mentiamo tutti, per così dire, sui grandi dei, il Sole e la Luna.

Clinia: E la menzogna qual è?

Ateniese: Diciamo che non percorrono mai la stessa strada nel cielo, né loro né altri astri con loro, e ciò quando li chiamiamo “pianeti”.

Clinia: Per Zeus, ospite, questo che stai dicendo è vero; infatti molte volte nella mia vita ho visto io stesso Lucifero e Vespero e altri non percorrere mai lo stesso cammino, vagare d’ogni parte nel cielo e ho visto il Sole e la Luna fare quello che sempre tutti sappiamo. [...]

Ateniese: - Miei cari, non è corretta questa dottrina e cioè che qualche volta la Luna, il Sole e gli altri astri sono erranti; è vero tutto il contrario di questo – ognuno di essi infatti percorre la stessa via, non molte, ma una sempre in cerchio e sembra muoversi per molte.

Vespero e Lucifero sono presentati come due differenti corpi celesti. Si tratta in realtà dello stesso pianeta, Venere, chiamato in due modi diversi perché si mostra talvolta in associazione diurna con il Sole (alla mattina), talvolta in associazione notturna (dopo il tramonto).

(Da Platone, *Leggi* 821a-822a, tr. it. Attilio Zadro, in id. *Opere*, Laterza, Bari 1966)

Testo greco

{AΘ.} Καὶ μὴν θαυμά γε περὶ αὐτὰ ἔστιν μέγα καὶ οὐδαμῶς οὐδαμῆ ἀνεκτόν. 821.(a.)

{ΚΛ.} Τὸ ποῖον δὴ;

{AΘ.} Τὸν μέγιστον θεὸν καὶ ὅλον τὸν κόσμον φάμεν οὔτε ζητεῖν δεῖν οὔτε πολυπραγμανεῖν τὰς αἰτίας ἐρευνῶντας—οὐ γὰρ οὐδ’ ὅσιον εἶναι—τὸ δὲ ἔοικεν πᾶν τούτου τούναντίον γιγνόμενον ὀρθῶς ἂν γίγνεσθαι. (5)

{ΚΛ.} Πῶς εἶπες;

{AΘ.} Παράδοξον μὲν τὸ λεγόμενον, καὶ οὐκ ἂν πρεσβύταις τις οἰηθείη πρόπειν· τὸ δὲ ἐπειδὴν τίς τι καλὸν τε οἰηθῆ καὶ ἀληθὲς μάθημα εἶναι καὶ πόλει συμφέρον καὶ τῷ θεῷ (b.) παντάπασιν φίλον, οὐδενὶ δὴ τρόπῳ δυνατὸν ἐστὶν εἶτι μὴ φράζειν.

{ΚΛ.} Εἰκότα λέγεις· ἀλλ' ἄστρον περὶ μάθημα τί τοιοῦτον ἀνευρήσομεν;

{AΘ.} Ὡ ἀγαθοί, καταψευδόμεθα νῦν ὡς ἔπος εἰπεῖν (5) Ἕλληνες πάντες μεγάλων θεῶν, Ἡλίου τε ἅμα καὶ Σελήνης.

{ΚΛ.} Τὸ ποῖον δὴ ψεῦδος;

AΘ.} Φαμὲν αὐτὰ οὐδέποτε τὴν αὐτὴν ὁδὸν ἰέναι, καὶ ἄλλ' ἄττα ἄστρον μετὰ τούτων, ἐπονομάζοντες πλανητὰ αὐτά. (c.)

{ΚΛ.} Νῆ τὸν Δία, ὦ ξένη, ἀληθὲς τοῦτο λέγεις· ἐν γὰρ δὴ τῷ βίῳ πολλάκις ἐώρακα καὶ αὐτὸς τὸν τε Ἐωσφόρον καὶ τὸν Ἑσπερον καὶ ἄλλους τινὰς οὐδέποτε ἰόντας εἰς τὸν αὐτὸν δρόμον ἀλλὰ πάντῃ πλανωμένους, τὸν δὲ ἥλιόν που καὶ σελήνην δρῶντας ταῦθ' ἃ ἀεὶ πάντες συνεπιστάμεθα.

{AΘ.} Πειρατέον. οὐ γὰρ ἐστὶ τοῦτο, ὦ ἄριστοι, τὸ δόγμα ὀρθὸν περὶ σελήνης τε καὶ ἡλίου καὶ τῶν ἄλλων ἄστρον, ὡς (5) ἄρα πλανᾶται ποτε, πᾶν δὲ τοῦναντίον ἔχει τούτου—τὴν αὐτὴν γὰρ αὐτῶν ὁδὸν ἕκαστον καὶ οὐ πολλὰς ἀλλὰ μίαν ἀεὶ κύκλῳ διεξέρχεται, φαίνεται δὲ πολλὰς φερόμενον.

Proposte di lavoro

- Spiegate perché secondo Platone l'espressione astri erranti, riferita ai pianeti, contiene una "menzogna"
- Sulla base del testo, chiarite a quali condizioni, secondo Platone, è accettabile l'idea di uno studio scientifico del cielo visibile
- Da questo testo di Platone, derivano all'astronomia antica, medioevale e anche rinascimentale norme molto vincolanti. Spiegate in che senso, chiarendo contestualmente la funzione che svolge il modello astronomico a deferente e epicicli.
- **Approfondimento.** Vediamo qui Platone impegnato a dettare le condizioni di una possibile astronomia scientifica, rispettosa dei principi ad essa assegnati dalla dialettica filosofica. Il rapporto che deve sussistere secondo Platone tra filosofia (*nous*) e scienze dianoetiche è precisato nel famoso esempio della "linea" esposto in Resp. VI. Cercate il testo, spiegate la parte che relativa al segmento più lungo. Infine, chiaritene il rapporto con il testo qui presentato.

Punto 2b2

Aristotele. Il moto circolare "per natura" del "quinto elemento"

Alla luce della propria dottrina dei movimenti e degli elementi naturali, Aristotele nel *De coelo*, offre un fondamento di ordine fisico alla teoria platonica sui moti circolari uniformi degli astri.

Testo dal *De Coelo*

«Tutti i corpi e le grandezze naturali, noi diciamo, sono per se stessi mobili secondo il luogo: diciamo infatti che la natura è il principio di movimento in essi. Il moto locale, che è quello che noi chiamiamo "traslazione" (φορά), è sempre o rettilineo, o circolare, o misto

di questi due: perché semplici sono questi due soli. E la ragione è che ci sono anche due sole grandezze semplici, la [linea] retta e quella circolare. Circolare è il movimento intorno al centro, rettilineo, quello verso l'alto e il basso. Verso l'alto, dico poi il moto che s'allontana dal centro, verso il basso, quello in direzione del centro. Ne consegue che ogni moto semplice è di necessità o dal centro, o verso il centro, o intorno al centro. [...] ora, poiché i corpi sono o semplici, o composti di semplici – dico semplici quelli in cui il principio del movimento è inerente alla loro stessa natura, come il fuoco e la terra, e le loro specie e i loro congeneri – anche i movimenti saranno di necessità o semplici o comunque composti, semplici quelli dei corpi semplici, composti quelli dei corpi composti, questi ultimi poi si muovono secondo la parte che prevale.

Se dunque esiste un moto semplice, e se il moto circolare è semplice, e il moto dei corpi semplici è semplice e il moto semplice è proprio dei corpi semplici – ma anche se il moto è il moto di un corpo composto, sarà secondo la parte che prevale -, ne viene che deve necessariamente esistere un corpo semplice che in virtù della sua natura abbia in proprio di muoversi di moto circolare, e infatti, solo per effetto di una costrizione si ammette che un corpo segua il moto di un altro, e da esso diverso, ma secondo natura questo è impossibile, se è vero che per ogni corpo semplice non c'è che un solo movimento naturale».

(Da Aristotele, *De caelo*, 268b15 – 269 a..., tr. it. in id. *De caelo*, a cura di Oddone Longo, Sansoni, Firenze, 1962)

Testo greco

Πάντα γὰρ τὰ φυσικὰ σώματα καὶ μεγέθη καθ' αὐτὰ κινητὰ λέγομεν εἶναι κατὰ (15) τόπον· τὴν γὰρ φύσιν κινήσεως ἀρχὴν εἶναι φαμεν αὐτοῖς. Πᾶσα δὲ κίνησις ὅση κατὰ τόπον, ἢν καλοῦμεν φορᾶν, ἢ εὐθεῖα ἢ κύκλω ἢ ἐκ τούτων μικτή· ἀπλαῖ γὰρ αὗται δύο μόναι. Αἴτιον δ' ὅτι καὶ τὰ μεγέθη ταῦτα ἀπλᾶ μόνον, ἢ τ' εὐθεῖα καὶ ἢ περιφερῆς. Κύκλω μὲν οὖν ἐστὶν ἡ περὶ τὸ μέσον, εὐθεῖα δ' ἡ ἄνω καὶ κάτω. Λέγω δ' ἄνω μὲν τὴν ἀπὸ τοῦ μέσου, κάτω δὲ τὴν ἐπὶ τὸ μέσον.

Ἐπεὶ δὲ τῶν σωμάτων τὰ μὲν ἐστὶν ἀπλᾶ τὰ δὲ σύνθετα ἐκ τούτων (λέγω δ' ἀπλᾶ μὲν ὅσα κινήσεως ἀρχὴν ἔχει κατὰ φύσιν, οἷον πῦρ καὶ γῆν καὶ τὰ τούτων εἶδη καὶ τὰ συγγενῆ τούτοις), ἀνάγκη καὶ τὰς κινήσεις εἶναι τὰς μὲν ἀπλᾶς τὰς δὲ μικτὰς πως, (269a.) καὶ τῶν μὲν ἀπλῶν ἀπλᾶς, μικτὰς δὲ τῶν συνθέτων, κινεῖσθαι δὲ κατὰ τὸ ἐπικρατοῦν.

Εἴπερ οὖν ἐστὶν ἀπλῆ κίνησις, ἀπλῆ δ' ἡ κύκλω κίνησις, καὶ τοῦ τε ἀπλοῦ σώματος ἀπλῆ ἡ κίνησις καὶ ἡ ἀπλῆ κίνησις ἀπλοῦ σώματος (καὶ γὰρ ἂν συνθέτου ἦ, κατὰ τὸ ἐπικρατοῦν ἔσται), ἀναγκαῖον εἶναι τι σῶμα ἀπλοῦν ὃ πέφυκε φέρεσθαι τὴν κύκλω κίνησιν κατὰ τὴν ἑαυτοῦ φύσιν· βία μὲν γὰρ ἐνδέχεται τὴν ἄλλου καὶ ἐτέρου, κατὰ φύσιν δὲ ἀδύνατον, εἴπερ μία ἐκάστου κίνησις ἢ κατὰ φύσιν τῶν ἀπλῶν.

Proposte di lavoro

- Ricostruite nei suoi punti essenziali l'argomentazione in base alla quale Aristotele giunge ad affermare la necessità di un "quinto" elemento, l'etere di cui sono costituite le sfere celesti

- Se da Platone (vd. 2b1) vengono fissati i principi che condizioneranno per due millenni gli sviluppi dell'astronomia, il testo di Aristotele pone la base per un'interpretazione altrettanto duratura del mondo fisico e delle cause del moto degli astri. Spiegate in che senso.
- I testi di Platone e di Aristotele sono alla base di una netta separazione tra ricerca astronomica e ricerca fisica, che si conserva fino all'epoca della rivoluzione copernicana ed è documentata per esempio dalla Prefazione del teologo Osiander al testo del *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543) di Nicolò Copernico. Scrivete un breve testo (10 righe) sull'argomento.

Punto 2b3

Archimede e il modello eliocentrico di Aristarco

Testo dall'Arenario di Archimede

«Aristarco di Samo, poi, espose per iscritto alcune ipotesi secondo le quali si ricava che il cosmo è più volte maggiore di quello [che allora si riteneva]. Suppone anche che le stelle fisse [cioè, la volta stellata] e il sole rimangano immobili, e che la terra giri, seguendo un cerchio, intorno al sole che sta nel mezzo dell'orbita».

(Da Archimede, *Arenario*, in G. Cambiano, *Filosofia e scienze nel mondo ellenistico*, Loescher, Torino, 1976).

Testo greco

Ἀρίσταρχος δὲ ὁ Σάμιος [...] Ὑποτίθεται γὰρ τὰ μὲν ἀπλανέα τῶν ἄστρον καὶ τὸν ἄλιον μένειν ἀκίνητον, τὰν δὲ γᾶν περιφέρεισθαι περὶ τὸν ἄλιον κατὰ κύκλου περιφέρειαν, ὅς ἐστιν ἐν μέσῳ τῷ δρόμῳ κείμενος,

(Aristarco di Samo ipotizza che fra le stelle ce ne siano alcune fisse e il sole resti immobile, la terra invece giri con un moto circolare intorno al sole, che è posto al centro del suo percorso)

Τοῦτό γ' εὐδηλον ὡς ἀδύνατόν ἐστιν (ciò è chiaramente impossibile)

(Da Archimede, *Arenario*, II, 135)

Proposte di lavoro

- In questo breve testo, Archimede – il grande matematico siracusano – presenta l'ipotesi eliocentrica elaborata dall'astronomo Aristarco di Samo. Quali sono gli elementi essenziali dell'ipotesi di Aristarco?
- Si tratta di un'ipotesi originale, lasciata cadere dagli astronomi per quasi duemila anni: per quali ragioni essa non ebbe fortuna? Rispondete in un breve testo, nel quale richiamerete in sintesi – oltre alle ragioni di ordine teologico – anche gli argomenti fisici esposti da Tolomeo nell'*Almagesto* (vd. 2b4).
- L'ipotesi di Aristarco venne rielaborata nel secolo XVI da Nicola Copernico. Copernico riprende tra l'altro da Aristarco l'idea che la volta stellata abbia dimensioni enormi. Perché questa condizione è importante? Rispondete riferendovi anche alla discussione che si svolge al riguardo nel Dialogo dei due massimi sistemi tra Salviati e Simplicio (vd. 2a3).

- Quali aspetto dell'ipotesi di Aristarco di Samo qui esposta è accolto da Galileo ma rifiutato da Keplero? Sulla base di quale idea alternativa? Rispondete, chiarendo al contempo la dottrina dell'astronomo tedesco.
- Approfondimento. Sull'importanza delle ipotesi eliocentriche antiche per la "rivoluzione" copernicana insiste l'epistemologo novecentesco Thomas Kuhn. Spiegate in che senso, leggendo il suo saggio del 1962: *La rivoluzione astronomica copernicana*, trad. it, Einaudi, Torino 1972.

Punto 2b4

Tolomeo. I moti celesti, tra astronomia e fisica

In questa pagina dell'*Almagesto*, Tolomeo afferma che dal punto di vista ottico e puramente astronomico l'ipotesi della rotazione giornaliera della Terra intorno al proprio asse è equivalente a quella del movimento del cielo in senso contrario: non così però dal punto di vista fisico-cosmologico.

Testo dall'Almagesto

«Ci sono alcuni che ritengono che non si potrebbe addurre nulla contro l'ipotesi che, per esempio, il cielo sia immobile e la Terra ruoti attorno allo stesso asse da occidente verso oriente compiendo pressoché un giro ogni giorno, o anche contro l'ipotesi che entrambi si muovano in certa misura, purché, come si è detto, sullo stesso asse [...]. Ora, per quanto concerne i fenomeni celesti, non c'è forse nulla che si oppone a che la cosa stia secondo questa più semplice congettura; ma sfugge a costoro che in base a ciò che accade tra noi nell'aria siffatta tesi non può che apparire del tutto ridicola. Infatti, concediamo pure a costoro [cioè ai sostenitori del movimento della Terra] ciò che è contro natura, cioè che i corpi le cui parti sono più sottili, e che sono i più leggeri, non siano dotati assolutamente di nessun movimento, o almeno di un movimento differenziato rispetto a quello dei corpi di natura contraria – ciò mentre chiaramente i corpi aerei, anche quelli che constano di parti meno sottili, compiono movimenti più veloci rispetto a tutti i corpi più terrosi –, e concediamo che invece i corpi le cui parti sono più grosse [la Terra], e che sono i più pesanti, compiano un movimento proprio così celere e uniforme [...]; ma costoro dovranno convenire che il movimento di rotazione della Terra è assolutamente il più impetuoso, rispetto a tutti i movimenti che gli avvengono intorno, dato che compie una così grande rivoluzione in breve tempo; di conseguenza tutti i corpi non appoggiati sulla Terra appariranno compiere un solo movimento, quello contrario alla Terra, e non si vedrà mai andare verso oriente una nuvola, né nient'altro che voli o sia scagliato, perché la Terra nel suo movimento li sorpasserà e precederà sempre, e quindi tutti gli altri corpi sembreranno essere lasciati indietro e spostarsi verso occidente.

Se poi costoro affermassero che l'aria è portata attorno insieme alla Terra nella stessa direzione e alla stessa velocità, nondimeno i composti nell'aria apparirebbero sempre lasciati indietro dal movimento dell'una e dell'altra; o se anche questi fossero portati attorno con l'aria, quasi unificati con essa, non apparirebbero più né avanzare né restare indietro, ma apparirebbero sempre statici, senza compiere una deviazione o uno spostamento neppure nei voli o nei lanci. Ma vediamo chiaramente compiersi tutto questo,

come se la non immobilità della Terra non avesse nessuna conseguenza sulla lentezza o velocità di questi corpi».

(Da Tolomeo, *Almagesto*, 1, VII, tr. it in F. Franco Ripellini, *Cosmologie greche*, Loescher, Torino 1980)

Proposte di lavoro

- Nel testo è esposta la tesi secondo cui dal punto di vista astronomico l'ipotesi della rotazione giornaliera della Terra intorno al proprio asse è equivalente a quella del moto in senso opposto della volta celeste. Individuate il punto del testo in cui se ne parla e spiegate.
- Le due ipotesi di cui al punto precedente – se astronomicamente equivalenti – non lo sono fisicamente. Spiegate che cosa significa.
- Esponete sinteticamente le obiezioni fisiche avanzate da Tolomeo contro il movimento della terra. Confrontatele con la confutazione cui esse sono sottoposte da Galileo Galilei (vd. testo 2a4): perché secondo Galileo quelli di Tolomeo – e altri simili – non sono argomenti validi?

Punto 2b5

La caduta dei gravi

Nella prima parte di questo brano Galileo confuta una delle supposizioni di Aristotele relative alla caduta dei corpi (ossia che la velocità di caduta è proporzionale al peso del corpo) attraverso un brillante “esperimento concettuale”. Nella seconda parte vediamo invece come Galileo è arrivato a pensare che “se si levasse totalmente la resistenza del mezzo, tutte le materie discenderebbero con ugual velocità” estrapolando il risultato (non verificabile ai suoi tempi) sulla base di alcune osservazioni ed esperimenti.

Testo dai *Discorsi*:

SIMPLICIO: Aristotele, per quanto mi sovviene, insorge contro alcuni antichi, i quali introducevano il vacuo come necessario per il moto, dicendo che questo senza quello non si potrebbe fare. A questo contrapponendosi Aristotele, dimostra che, all'opposto, il farsi (come veggiamo) il moto distrugge la posizione del vacuo; e 'l suo progresso è tale. Fa due supposizioni: l'una è di mobili diversi in gravità, mossi nel medesimo mezzo; l'altra è dell'istesso mobile mosso in diversi mezzi. Quanto al primo, suppone che mobili diversi in gravità si muovano nell'istesso mezzo con diseguali velocità, le quali mantengano tra di loro la medesima proporzione che le gravità; sì che, per esempio, un mobile dieci volte più grave di un altro si muova dieci volte più velocemente. Nell'altra posizione piglia che le velocità del medesimo mobile in diversi mezzi ritengano tra di loro la proporzione contraria di quella che hanno le grossezze o densità di essi mezzi; talmente che, posto, v. g., che la crassie dell'acqua fusse dieci volte maggiore di quella dell'aria, vuole che la velocità nell'aria sia dieci volte più che la velocità nell'acqua. E da questo secondo supposto trae la dimostrazione in cotal forma; perché la tenuità del vacuo supera d'infinito intervallo la corpulenza, ben che sottilissima, di qualsivoglia mezzo pieno, ogni mobile che nel mezzo pieno si movesse per qualche spazio in qualche tempo, nel vacuo dovrebbe

muoversi in uno istante; ma farsi moto in uno istante è impossibile; adunque darsi il vacuo in grazia del moto è impossibile.

SALVIATI: [...] mi par che si potrebbe andar contro a gli assunti di quello, negandogli amendue. E quanto al primo, io grandemente dubito che Aristotele non sperimentasse mai quanto sia vero che due pietre, una più grave dell'altra dieci volte, lasciate nel medesimo istante cader da un'altezza, v. g., di cento braccia, fusser talmente differenti nelle lor velocità, che all'arrivo della maggior in terra, l'altra si trovasse non avere né anco sceso dieci braccia.

SIMP.: Si vede pure dalle sue parole ch'ei mostra d'averlo sperimentato, perché ei dice: Veggiamo il più grave; or quel vedersi accenna l'averne fatta l'esperienza.

SAGREDO: Ma io, Sig. Simplicio, che n'ho fatto la prova, vi assicuro che una palla d'artiglieria, che pesi cento, dugento e anco più libbre, non anticiperà di un palmo solamente l'arrivo in terra della palla d'un moschetto, che ne pesi una mezza, venendo anco dall'altezza di dugento braccia.

SALV.: Ma, senz'altre esperienze, con breve e concludente dimostrazione possiamo chiaramente provare, non esser vero che un mobile più grave si muova più velocemente d'un altro men grave, intendendo di mobili dell'istessa materia, ed in somma di quelli de i quali parla Aristotele. Però ditemi, Sig. Simplicio, se voi ammettete che di ciascheduno corpo grave cadente sia una da natura determinata velocità, sì che accrescergliela o diminuirgliela non si possa se non con usargli violenza o opporgli qualche impedimento.

SIMP.: Non si può dubitare che l'istesso mobile nell'istesso mezzo abbia una statuita e da natura determinata velocità, la quale non se gli possa accrescere se non con nuovo impeto conferitogli, o diminuirgliela salvo che con qualche impedimento che lo ritardi.

SALV.: Quando dunque noi avessimo due mobili, le naturali velocità de i quali fussero ineguali, è manifesto che se noi congiugnissimo il più tardo col più veloce, questo dal più tardo sarebbe in parte ritardato, ed il tardo in parte velocitato dall'altro più veloce. Non concorrete voi meco in quest'opinione?

SIMP.: Parmi che così debba indubitabilmente seguire.

SALV.: Ma se questo è, ed è insieme vero che una pietra grande si muova, per esempio, con otto gradi di velocità, ed una minore con quattro, adunque, congiugnendole amendue insieme, il composto di loro si moverà con velocità minore di otto gradi: ma le due pietre, congiunte insieme, fanno una pietra maggiore che quella prima, che si moveva con otto gradi di velocità: adunque questa maggiore si muove men velocemente che la minore; che è contro alla vostra supposizione. Vedete dunque come dal suppor che 'l mobile più grave si muova più velocemente del men grave, io vi concludo, il più grave muoversi men velocemente.

SIMP.: Io mi trovo avviluppato, perché mi par pure che la pietra minore aggiunta alla maggiore le aggiunga peso, e aggiugnendole peso, non so come non debba aggiugnerle velocità, o almeno non diminuirgliela.

[...]

SALV.: [...] nel mezzo dell'argento vivo l'oro non solamente va in fondo più velocemente del piombo, ma esso solo vi discende, e gli altri metalli e pietre tutti vi si muovono in su e vi galleggiano, dove che tra palle d'oro, di piombo, di rame, di porfido, o di altre materie gravi, quasi del tutto insensibile sarà la disegualità del moto per aria, ché sicuramente una

palla d'oro nel fine della scesa di cento braccia non preverrà una di rame di quattro dita; veduto, dico, questo, cascai in opinione che se si levasse totalmente la resistenza del mezzo, tutte le materie descenderebbero con eguali velocità.

SIMP.: Gran detto è questo, Sig. Salviati. Io non crederò mai che nell'istesso vacuo, se pur vi si desse il moto, un fiocco di lana si movesse così veloce come un pezzo di piombo.

SALV.: Pian piano, Sig. Simplicio: la vostra difficoltà non è tanto recondita, né io così inavveduto, che si debba credere che non mi sia sovvenuta, e che in conseguenza io non vi abbia trovato ripiego. Però, per mia dichiarazione e vostra intelligenza, sentite il mio discorso. Noi siamo su 'l volere investigare quello che accaderebbe a i mobili differentissimi di peso in un mezzo dove la resistenza sua fusse nulla, sì che tutta la differenza di velocità, che tra essi mobili si ritrovasse, referir si dovesse alla sola disuguaglianza di peso; e perché solo uno spazio del tutto voto d'aria e di ogni altro corpo, ancor che tenue e cedente, sarebbe atto a sensatamente mostrarci quello che ricerchiamo, già che manchiamo di cotale spazio, andremo osservando ciò che accaggia ne i mezzi più sottili e meno resistenti, in comparazione di quello che si vede accadere ne gli altri manco sottili e più resistenti: ché se noi troveremo, in fatto, i mobili differenti di gravità meno e meno differir di velocità secondo che in mezzi più e più cedenti si troveranno e che finalmente, ancor che estremamente diseguali di peso, nel mezzo più d'ogni altro tenue, se ben non voto, piccolissima si scorga e quasi inosservabile la diversità della velocità, parmi che ben potremo con molto probabil coniettura credere che nel vacuo sarebbero le velocità loro del tutto eguali. Per tanto consideriamo ciò che accade nell'aria: dove, per aver una figura di superficie ben terminata e di materia leggierissima, voglio che pigliamo una vescica gonfiata, nella quale l'aria che vi sarà dentro peserà, nel mezzo dell'aria stessa, niente o poco, perché poco vi si potrà comprimere; talché la gravità è solo quella poca della stessa pellicola, che non sarebbe la millesima parte del peso d'una mole di piombo grande quanto la medesima vescica gonfiata. Queste, Sig. Simplicio, lasciate dall'altezza di quattro o sei braccia, di quanto spazio stimereste che 'l piombo fusse per anticipare la vescica nella sua scesa? siate sicuro che non l'anticiperebbe del triplo, né anco del doppio, se ben già l'aresti fatto mille volte più veloce.

SIMP.: Potrebbe esser che nel principio del moto, cioè nelle prime quattro o sei braccia, accadesse cotesto che dite: ma nel progresso ed in una lunga continuazione, credo che 'l piombo se la lascerebbe indietro non solamente delle dodici parti dello spazio le sei, ma anco le otto e le dieci.

SALV.: Ed io ancora credo l'istesso, e non dubito che in distanze grandissime potesse il piombo aver passato cento miglia di spazio, prima che la vescica ne avesse passato un solo: ma questo, Sig. Simplicio mio, che voi proponete come effetto contrariante alla mia proposizione, è quello che massimamente la conferma. È (torno a dire) l'intento mio dichiarare, come delle diverse velocità di mobili di differente gravità non ne sia altramente causa la diversa gravità, ma che ciò dependa da accidenti esteriori ed in particolare dalla resistenza del mezzo, sì che, tolta questa, tutti i mobili si moverebber con i medesimi gradi di velocità: e questo deduco io principalmente da quello che ora voi stesso ammettete e che è verissimo, cioè che di mobili differentissimi di peso le velocità più e più differiscono secondo che maggiori e maggiori sono gli spazii che essi van trapassando; effetto che non seguirebbe quando ei dependesse dalle differenti gravità. Imperò che, essendo esse

sempre le medesime, medesima dovrebbe mantenersi sempre la proporzione tra gli spazi passati, la qual proporzione noi veggiamo andar, nella continuazion del moto, sempre crescendo; poiché l'un mobile gravissimo nella scesa d'un braccio non anticiperà il leggerissimo della decima parte di tale spazio, ma nella caduta di dodici braccia lo preverrà della terza parte, in quella di cento l'anticiperà di 90/100, etc.

Proposte di lavoro

- Quali sono le due supposizioni che trovi all'inizio del brano e che stanno alla base della caduta dei corpi secondo Aristotele?
- Descrivi l'"esperimento mentale" utilizzato da Salviati per criticare la prima supposizione di Aristotele.
- Sulla base di quale ragionamento Salviati conclude che "se si levasse totalmente la resistenza del mezzo, tutte le materie descenderebbero con uguali velocità"?
- Approfondimento. Tratta il seguente tema: il moto di caduta di un grave da Aristotele a Newton. Puoi fare riferimento ai seguenti testi: G. Bonera, *Galileo e la caduta dei gravi*, "Giornale di Fisica", volume 49 aprile -giugno, 2008; R.P. Crease, *Il prisma e il pendolo*, Longanesi, Milano, 2007; A. Frova, A. Marenzana, *Parola di Galileo*, RCS Libri, Milano, 1998; M. Gliozzi, *Storia della fisica*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2005; E. Bellone, *Galileo: le opere e i giorni di una mente inquieta*, I grandi della scienza, n°1, Le Scienze, Milano, 1998.

2c. La fisica galileiana e le sue basi filosofiche

Punto 2c1

La concezione meccanicistica della realtà fisica (e della sensazione)

Nel famoso brano del *Saggiatore*, Galileo espone la propria concezione meccanicistica della realtà fisica e spiega le nostre sensazioni come effetto dell'azione delle qualità meccaniche della sostanza sui nostri organi di senso.

Testo dal *Saggiatore*

«Io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch'ella è terminata e figurata di questa o quella figura, ch'ella in relazione ad altre è grande o piccola, ch'ella è in questo o quel luogo, in questo o quel tempo, ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poche o molte, né per veruna immaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amara o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla mente di doverla apprendere da cotali condizioni necessariamente accompagnata: anzi, se i sensi non ci fossero di scorta, forse il discorso o l'immaginazione non vi arriverebbe già mai. Per lo chè vo pensando che questi sapori, odori, colori etc., per la parte del soggetto nel quale ci par che riseggano, non sieno altro che puri nomi, ma tengano solamente la lor residenza nel corpo sensitivo, sì che rimosso l'animale sieno levate e annichilate tutte queste qualità; tuttavolta però che noi, sì come gli abbiamo imposti nomi particolari e differenti da quelli degli altri primi e reali accidenti, volessimo credere ch'esse ancora fossero veramente e realmente da quelli diverse. Io credo che con qualche essemplio più chiaramente spiegherò il mio concetto. Io vo movendo una mano ora sopra una statua di marmo, ora sopra un uomo vivo. Quanto all'azione che vien dalla mano, rispetto ad essa mano è la medesima sopra l'uno e l'altro soggetto, ch'è di quei primi accidenti, cioè moto e toccamento, né per altri nomi vien da noi chiamata: ma il corpo animato, che riceve tali operazioni, sente diverse affezioni secondo che in varie parti vien tocco; e venendo toccato, verbigratia, sotto le piante dei piedi, sopra le ginocchia o sotto le ascelle, sente oltre al comun toccamento, un'altra affezione, alla quale noi abbiamo imposto il nome di solletico: la quale affezione è tutta nostra, e non punto della mano; e parmi gravemente errerebbe chi volesse dire, la mano, oltre al moto e al toccamento, avere in sé un'altra facoltà diversa da queste, cioè il solleticare, sì che il solletico fusse un accidente che risiedesse in lei».

Proposte di lavoro

- Identifica e sottolinea le parole chiave:
 - usate da Galileo per designare le cose di cui è fatta la realtà fisica;
 - usate da Galileo per designare il soggetto dotato di organi di senso;
 - usate da Galileo per designare le qualità sensibili.
- Per molti aspetti, l'uso di questi termini, che risente del latino della scolastica, è diverso dal nostro: spiega in che senso.
- Riassumi il testo in 10 righe

- **Approfondimento.** A causa di questo testo, Galileo fu accusato eresia. Le ragioni della denuncia, anonima, sono chiaramente espresse anche in un testo scritto dal gesuita padre Grassi in risposta al Saggiatore: la *Ratio ponderum et sibellae*, pubblicata nel 1626. Alcune parti del testo del Grassi sono riportate in Cioffi, Luppi, et al., *I filosofi e le idee*, vol. II, Bruno Mondadori, Milano 2004, pag. 312-13 e in forma completa in appendice a P. Redondi, *Galileo eretico*, Einaudi, Torino 1983. Svolgi un approfondimento sulle ragioni di tipo teologico che stavano alla base del rifiuto delle idee contenute nel passo del Saggiatore che abbiamo letto, da parte dei gesuiti e delle autorità ecclesiastiche.

Punto 2c2

Il principio di inerzia

Viene qui sotto riportato il principio di inerzia così come appare nei *Discorsi*, scritto in latino, all'interno del trattato sul moto che si immagina Salviati, Sagredo e Simplicio leggano. Un enunciato simile si trova anche nel *Dialogo*: confronta il brano 2a5.

Testo dai *Discorsi*

Attendere insuper licet, quod velocitatis gradus, quicumque in mobili reperiatur, est in illo suapte natura indelebiter impressus, dum externae causae accelerationis aut retardationis tollantur, quod in solo horizontali plano contingit ; nam in planis declivibus adest jam causa accelerationis maioris, in acclivibus vero retardationis : ex quo pariter sequitur, motum in horizontali esse quoque aeternum ; si enim est aequabilis, non debilitatur aut remittitur, et multo minus tollitur.

[Inoltre, è lecito aspettarsi che, qualunque grado di velocità si trovi in un mobile, gli sia per sua natura indelebilmente impresso, purché siano tolte le cause esterne di accelerazione o di ritardamento; il che accade soltanto nel piano orizzontale; infatti nei piani declivi è di già presente una causa di accelerazione, mentre in quelli acclivi [è già presente una causa] di ritardamento: da ciò segue parimenti che il moto sul piano orizzontale è anche eterno; infatti, se è equabile, non scema o diminuisce, né tanto meno cessa.]

Proposte di lavoro

- Hai letto il principio di inerzia così come appare nei *Dialoghi*. Lo hai già incontrato in 2a5 nel brano in cui la caduta di una pietra da una torre viene paragonata alla caduta di un sasso dall'albero di una nave. Enuncia il principio così come viene riportato oggi dai manuali di fisica e sottolinea quanto sia rivoluzionario rispetto alle idee sul moto proprie della fisica aristotelica.
- Introduci il concetto di sistema inerziale così come lo trovi oggi riportato nei manuali di fisica.
- **Approfondimento.** La paternità del principio di inerzia viene in genere attribuita dagli storici della scienza a Galileo Galilei. Non tutti sono però completamente d'accordo. Prova a fare qualche ricerca su questo argomento. Puoi utilizzare come

punto di partenza i seguenti testi: L. Geymonat, *Galileo Galilei*, Einaudi, Torino, 1957; A. Frova, M. Marenzana, *Parola di Galileo*, RCS Libri, Milano, 1998.

Punto 2c3

Composizione dei movimenti: la colubrina

Vengono qui sotto riportati due brani: **il primo** è la parte iniziale della quarta giornata dei *Discorsi*. Salviati, Simplicio e Sagredo riprendono la lettura del trattato in cui le leggi del moto sono espresse con rigore matematico. Sono ormai giunti alla terza e ultima parte (*De motu violento seu de proiectis*). Il primo teorema che viene enunciato è relativo alla traiettoria dei proiettili.

Il secondo brano è invece tratto dal *Dialogo*: dal principio di composizione dei moti l'autore ricava che i proiettili lanciati orizzontalmente da una determinata altezza impiegano sempre lo stesso tempo a toccare terra indipendentemente dalla loro gittata.

Testo dai *Discorsi*

GIORNATA QUARTA

[...]

De motu proietorum.

Quae in motu aequabili contingunt accidentia, itemque in motu naturaliter accelerato super quascunque planorum inclinationes, supra consideravimus. In hac, quam modo aggredior, contemplatione, praecipua quaedam symptomata, eaque scitu digna, in medium afferre conabor, eademque firmis demonstrationibus stabilire, quae mobili accidunt dum motu ex duplici latione composito, aequabili nempe et naturaliter accelerata, movetur: huiusmodi autem videtur esse motus ille, quem de proiectis dicimus; cuius generationem talem constituo.

Mobile quoddam super planum horizontale proiectum mente concipio, omni secluso impedimento: iam constat, ex his quae fusius alibi dicta sunt, illius motum aequabilem et perpetuum super ipso plano futurum esse, si planum in infinitum extendatur; si vero terminatum et in sublimi positum intelligamus, mobile, quod gravitate praeditum concipio, ad plani terminum delatum, ulterius progrediens, aequabili atque indelebili priori lationi superaddet illam quam a propria gravitate habet deorsum propensionem, indeque motus quidam emerget compositus ex aequabili horizontali et ex deorsum naturaliter accelerato, quem projectionem voco. Cuius accidentia nonnulla demonstrabimus: quorum primum sit.

THEOREMA I, PROPOSITIO 1.

Proiectum, dum fertur motu composito ex horizontali aequabili et ex naturaliter accelerato deorsum, lineam semiparabolicam describit in sua latione.

[DEL MOTO DEI PROIETTI

Le proprietà che si presentano nel moto equabile, come pure nel moto naturalmente accelerato su piani di qualsiasi inclinazione, le abbiamo considerate sopra. Nella trattazione, che ora comincio, cercherò di presentare, e di stabilire sulla base di salde dimostrazioni, alcuni fenomeni notevoli e degni di essere conosciuti, che sono propri di un

mobile, mentre si muove con moto composto di un duplice movimento, cioè di un movimento equabile e di uno naturalmente accelerato: tale appunto sembra essere quello che chiamiamo moto dei proietti; la generazione del quale così stabilisco.

Immagino di avere un mobile lanciato su un piano orizzontale, rimosso ogni impedimento: già sappiamo, per quello che abbiamo detto più diffusamente altrove, che il suo moto si svolgerà equabile e perpetuo sul medesimo piano, qualora questo si estenda all'infinito; se invece intendiamo [questo piano] limitato e posto in alto, il mobile, che immagino dotato di gravità, giunto all'estremo del piano e continuando la sua corsa, aggiungerà al precedente movimento equabile e indelebile quella propensione all'ingiù dovuta alla propria gravità: ne nasce un moto composto di un moto orizzontale equabile e di un moto deorsum naturalmente accelerato, il quale [moto composto] chiamo proiezione. Ne dimostreremo parecchie proprietà: la prima delle quali sia [la seguente].

TEOREMA 1. PROPOSIZIONE 1

Un proietto, mentre si muove di moto composto di un moto orizzontale equabile e di un moto deorsum naturalmente accelerato, descrive nel suo movimento una linea semiparabolica.]

Testo dal *Dialogo*

SAGREDO: Di grazia, signor Salviati, prima che passare ad altro, concedetemi che io metta in campo certa difficoltà che mi si è raggirata per la fantasia mentre voi stavi con tanta flemma sminuzolando al signor Simplicio questa esperienza della nave.

SALVIATI: Noi siam qui per discorrere, ed è bene che ogn'uno muova le difficoltà che gli sovengono, ché questa è la strada per venir in cognizion del vero. Però dite.

SAGR.: Quando sia vero che l'impeto col quale si muove la nave resti impresso indelebilmente nella pietra, dopo che s'è separata dall'albero, e sia in oltre vero che questo moto non arrechi impedimento o ritardamento al moto retto all'ingiù, naturale alla pietra, è forza che ne segua un effetto meraviglioso in natura. Stia la nave ferma, e sia il tempo della caduta d'un sasso dalla cima dell'albero due battute di polso: muovasi poi la nave, e lascisi andar dal medesimo luogo l'istesso sasso, il quale, per le cose dette, metterà pur il tempo di due battute ad arrivare a basso, nel qual tempo la nave avrà, verbigrazia, scorso venti braccia, talché il vero moto della pietra sarà stato una linea trasversale, assai piú lunga della prima retta e perpendicolare, che è la sola lunghezza dell'albero: tuttavia la palla l'avrà passata nel medesimo tempo. Intendasi di nuovo il moto della nave accelerato assai piú, sí che la pietra nel cadere dovrà passare una trasversale ancor piú lunga dell'altra; ed insomma, crescendo la velocità della nave quanto si voglia, il sasso cadente descriverà le sue trasversali sempre piú e piú lunghe, e pur tutte le passerà nelle medesime due battute di polso: ed a questa similitudine, quando in cima di una torre fusse una colubrina livellata, e con essa si tirassero tiri di punto bianco, cioè paralleli all'orizzonte, per poca o molta carica che si desse al pezzo, sí che la palla andasse a cadere ora lontana mille braccia, or quattro mila, or sei mila, or dieci mila etc., tutti questi tiri si spedirebbero in tempi eguali tra di loro, e ciascheduno eguale al tempo che la palla consumerebbe a venire dalla bocca del pezzo sino in terra, lasciata, senz'altro impulso, cadere semplicemente giú a perpendicolo. Or par meravigliosa cosa che nell'istesso breve tempo della caduta a

piombo sino in terra dall'altezza, verbigrazia, di cento braccia, possa la medesima palla, cacciata dal fuoco, passare or quattrocento, or mille, or quattromila, ed or diecimila braccia, sí che la palla in tutti i tiri di punto bianco si trattenga sempre in aria per tempi eguali.

SALV.: La considerazione per la sua novità è bellissima, e quando l'effetto sia vero, è meraviglioso: e della sua verità io non ne dubito; e quando non ci fusse l'impedimento accidentario dell'aria, io tengo per fermo che se nell'uscir la palla del pezzo si lasciasse cader un'altra dalla medesima altezza giù a piombo, amendue arriverebbero in terra nel medesimo instante, ancorché quella avesse camminato diecimila braccia di distanza, e questa cento solamente.

Proposte di lavoro

- Dopo aver enunciato il principio di composizione dei movimenti così come lo trovi oggi riportato nei manuali di fisica, dimostra che la traiettoria di un oggetto lanciato in orizzontale è una parabola.
- Dimostra che la traiettoria di un oggetto lanciato in direzione obliqua è una parabola.
- La gittata di un proiettile è il suo massimo spostamento in direzione orizzontale. Determina la gittata di un proiettile nel caso in cui questo venga lanciato obliquamente con velocità di modulo v (indicare con v_x e v_y i componenti orizzontale e verticale della velocità v).
- La quota massima di un proiettile è l'ordinata del punto più alto di una traiettoria. Determina la quota massima di un proiettile nel caso in cui questo venga lanciato obliquamente con velocità di modulo v (indicare con v_x e v_y i componenti orizzontale e verticale della velocità v).
- Dalla cima dell'albero di una barca a vela, che si muove con velocità costante, è lasciata cadere una biglia di ferro. Che traiettoria percorre secondo un marinaio A che la osserva stando sulla barca? E secondo un marinaio B fermo sul molo? Entrambi i marinai sono provvisti di un cronometro: se la velocità della barca è 20 m/s e l'altezza dell'albero 10 m, calcolare il tempo, quello misurato da A e quello misurato da B, impiegato dalla biglia per completare la sua traiettoria. Si supponga di poter trascurare gli effetti prodotti dall'attrito dell'aria. (dal testo di Bermagaschini, Marazzini, Mazzoni, *La conoscenza del mondo fisico*, Carlo Signorelli Editore)
- Uno sperone di roccia sovrasta il terreno circostante dall'altezza di 80 metri; dalla sua sommità viene lanciato un sasso con velocità orizzontale di 8 m/s. Dopo quanto tempo il sasso arriva a terra? Quanto vale la componente verticale della velocità nel momento di impatto con il terreno? Quanto vale la velocità del sasso a terra? (dal testo di Bermagaschini, Marazzini, Mazzoni, *La conoscenza del mondo fisico*, Carlo Signorelli Editore).

Punto 2c4**“Del moto locale” e “Del moto equabile”: l’inizio della terza giornata dei Discorsi**

Nella terza giornata dei Discorsi si immagina che Salviati, Sagredo e Simplicio inizino a leggere un trattato sul moto scritto in latino da Galileo stesso. Il trattato è diviso in tre parti che riguardano rispettivamente il moto rettilineo uniforme, il moto rettilineo uniformemente accelerato e il moto dei proiettili. Nel brano sotto riportato trovi sia l’introduzione al trattato, introduzione in cui Galileo sottolinea le grandi novità da lui portate intorno a un argomento antichissimo quale è lo studio del moto, sia la parte iniziale relativa al moto uniforme. Puoi notare come l’argomento sia presentato con il rigore proprio della matematica: definizioni, assiomi, teoremi.

Testo dai *Discorsi***GIORNATA TERZA****DE MOTU LOCALI**

De subiecto vetustissimo novissimam promovemus scientiam. Motu nil forte antiquius in natura, et circa eum volumina nec pauca nec parva a philosophis conscripta reperiuntur; symptomatum tamen, quae complura et scitu digna insunt in eo, adhuc inobservata, necdum indemonstrata, comperio. Leviora quaedam adnotantur, ut, gratia exempli, naturalem motum gravium descendentium continue accelerari; verum, iuxta quam proportionem eius fiat acceleratio, proditum hucusque non est: nullus enim, quod sciam, demonstravit, spatia a mobili descendente ex quiete peracta in temporibus aequalibus, eam inter se retinere rationem, quam habent numeri impares ab unitate consequentes. Observatum est, missilia, seu proiecta, lineam qualitercunque curvam designare; veruntamen, eam esse parabolam, nemo prodidit. Haec ita esse, et alia non pauca nec minus scitu digna, a me demonstrabuntur, et, quod pluris faciendum censeo, aditus et accessus ad amplissimam praestantissimamque scientiam, cuius hi nostri labores erunt elementa, recludetur, in qua ingenia mea perspicaciora abditiores recessus penetrabunt.

Tripartito dividimus hanc tractationem: in prima parte considramus ea quae spectant ad motum aequabilem, seu uniformem; in secunda de motu naturaliter accelerato scribimus; in tertia, de motu violento, seu de proiectis.

De motu aequabili.

Circa motum aequabilem, seu uniformem, unica opus habemus definitione, quam eiusmodi profero:

DEFINITIO.

Aequalem, seu uniformem, motum intelligo eum, cuius partes quibuscunque temporibus aequalibus a mobili peractae, sunt inter se aequales.

ADMONITIO.

Visum est addere veteri definitioni (quae simpliciter appellat motum aequabilem, dum temporibus aequalibus aequalia transiguntur spatia) particulam quibuscunque, hoc est omnibus temporibus aequalibus: fieri enim potest, ut temporibus aliquibus aequalibus mobile pertranseat spatia aequalia, dum tamen spatia transacta in partibus eorundem

temporum minoribus, licet aequalibus, aequalia non sint. Ex allata definitione quatuor pendent axiomata, scilicet:

AXIOMA I.

Spatium transactum tempore longiori in eodem motu aequabili maius esse spatio transacto tempore breviori.

AXIOMA II.

Tempus quo maius spatium conficitur in eodem motu aequabili longius est tempore quo conficitur spatium minus.

AXIOMA III.

Spatium a maiori velocitate confectum tempore eodem, maius est spatio confecto a minori velocitate.

AXIOMA IV.

Velocitas qua tempore eodem conficitur maius spatium, maior est velocitate qua conficitur spatium minus.

THEOREMA I, PROPOSITIO I.

Si mobile aequabiliter latum eademque cum velocitate duo per transeat spatia, tempora lationum erunt inter se ut spatia peracta.

[...]

THEOREMA II, PROPOSITIO II.

Si mobile temporibus aequalibus duo per transeat spatia, erunt ipsa spatia inter se ut velocitates. Et si spatia sint ut velocitates, tempora erunt aequalia.

[...]

THEOREMA III, PROPOSITIO III.

Inaequalibus velocitatibus per idem spatium latorum tempora, velocitatibus e contrario respondent.

[DEL MOTO LOCALE

Diamo avvio a una nuovissima scienza intorno a un soggetto antichissimo. Nulla v'è, forse, in natura, di più antico del moto, e su di esso ci sono non pochi volumi, né di piccola mole, scritti dai filosofi; tuttavia tra le sue proprietà ne trova molte che, pur degne di essere conosciute, non sono mai state finora osservate, nonché dimostrate. Se ne rilevano alcune più immediate, come quella, ad esempio, che il moto naturale dei gravi discendenti accelera continuamente; però, secondo quale proporzione tale accelerazione avvenga, non è stato sin qui mostrato: nessuno, che io sappia, infatti, ha dimostrato che un mobile discendente a partire dalla quiete percorre, in tempi eguali, spazi che ritengono tra di loro la medesima proporzione che hanno i numeri impari successivi ab unitate. È stato osservato che i corpi lanciati, ovverossia i proietti, descrivono una linea curva di un

qualche tipo; però, che essa sia una parabola, nessuno l'ha mostrato. Che sia così, lo dimostrerò insieme ad altre non poche cose, né meno degne di essere conosciute, e, ciò che ritengo ancor più importante, si apriranno le porte a una vastissima e importantissima scienza, della quale queste nostre ricerche costituiranno gli elementi; altri ingegni più acuti del mio ne penetreranno poi più ascosi recessi.

Dividiamo in tre parti la trattazione: nella prima parte consideriamo ciò che concerne il moto equabile o uniforme; nella seconda trattiamo del moto naturalmente accelerato; nella terza, del moto violento, ossia dei proietti.

DEL MOTO EQUABILE

Circa il moto equabile o uniforme, ci occorre una sola definizione, che formulo così:

DEFINIZIONE

Moto eguale o uniforme intendo quello in cui gli spazi percorsi da un mobile in tempi eguali, comunque presi, risultano tra di loro eguali.

AVVERTENZA

Ci è parso opportuno aggiungere alla vecchia definizione (che semplicemente parla di moto equabile, allorché in tempi eguali vengono percorsi spazi eguali) l'espressione comunque presi, cioè per tutti i tempi che siano eguali: infatti, può accadere che in determinati tempi eguali un mobile percorra spazi eguali, mentre spazi, percorsi in frazioni di tempo minori, sebbene eguali, non siano eguali. Dalla precedente definizione dipendono quattro assiomi, cioè:

ASSIOMA 1

In uno stesso moto equabile, lo spazio percorso in un tempo più lungo è maggiore dello spazio percorso in un tempo più breve.

ASSIOMA 2

In uno stesso moto equabile, il tempo in cui è percorso uno spazio maggiore è più lungo del tempo impiegato a percorrere uno spazio minore.

ASSIOMA 3

Lo spazio, percorso in un dato tempo a velocità maggiore, è maggiore di quello percorso, nello stesso tempo, a velocità minore.

ASSIOMA 4

La velocità, con cui in un dato tempo viene percorso uno spazio maggiore, è maggiore di quella con cui, nello stesso tempo, viene percorso uno spazio minore.

TEOREMA 1. PROPOSIZIONE 1

Se un mobile, dotato di moto equabile, percorre due spazi con una stessa velocità, i tempi dei moti staranno tra di loro come gli spazi percorsi.

TEOREMA 2. PROPOSIZIONE 2

Se un mobile percorre due spazi in tempi eguali, quegli spazi staranno tra loro come le velocità. E se gli spazi stanno tra loro come le velocità, i tempi saranno eguali.

TEOREMA 3. PROPOSIZIONE 3

Se il medesimo spazio viene percorso con velocità diseguali, i tempi dei moti rispondono contrariamente [sono inversamente proporzionali] alle velocità.]

Proposte di lavoro

- Dopo aver inquadrato i Discorsi all'interno della vita e delle opere di Galileo e averne delineato la struttura, commenta la sezione "Del moto locale" che trovi all'inizio della giornata terza.
- Confronta la trattazione di Galileo relativa al moto uniforme con quella di un moderno manuale di fisica.
- Dimostra i tre teoremi relativi al moto uniforme riportati nel brano.

Punto 2c5**Del moto naturalmente accelerato**

Il brano riporta la parte iniziale del secondo argomento affrontato dal trattato sul moto letto dai tre protagonisti dei Discorsi: il moto uniformemente accelerato. Dopo una introduzione generale, trovi la definizione precisa di moto uniformemente accelerato e il principio al quale Galileo chiede di credere prima di iniziare la dimostrazione di una lunga serie di risultati. Vengono riportati i primi due teoremi, affermazioni notissime che si trovano ormai in qualunque manuale di meccanica. Del primo teorema viene riportata anche la dimostrazione.

Testo dai *Discorsi*

De motu naturaliter accelerato.

Quae in motu aequabili contingunt accidentia, in praecedenti libro considerata sunt: modo de motu accelerato pertractandum.

Et primo, definitionem ei, quo utitur natura, apprime congruentem investigare atque explicare convenit. Quamvis enim aliquam lationis speciem ex arbitrio confingere, et consequentes eius passiones contemplari, non sit inconueniens (ita, enim, qui helicas aut conchoides lineas ex motibus quibusdam exortas, licet talibus non utatur natura, sibi finxerunt, earum symptomata ex suppositione demonstrarunt cum laude), tamen, quandoquidem quadam accelerationis specie gravium descendentium utitur natura, eorundem speculari passiones decrevimus, si eam, quam allaturi sumus de nostro motu accelerato definitionem, cum essentia motus naturaliter accelerati congruere contigerit. Quod tandem, post diuturnas mentis agitationes, repperisse confidimus; ea potissimum ducti ratione, quia symptomatis, deinceps a nobis demonstratis, apprime respondere atque congruere videntur ea, quae naturalia experimenta sensui repraesentant. Postremo, ad investigationem motus naturaliter accelerati nos quasi manu duxit animadversio consuetudinis atque instituti ipsiusmet naturae in ceteris suis operibus omnibus, in quibus exercendis uti consuevit mediis primis, simplicissimis, facillimis. Neminem enim esse

arbitror qui credat, natatum aut volatum simpliciori aut faciliori modo exerceri posse, quam eo ipso, quo pisces et aves instinctu naturali utuntur.

Dum igitur lapidem, ex sublimi a quiete descendentem, nova deinceps velocitatis acquirere incrementa animadverto, cur talia additamenta, simplicissima atque omnibus magis obvia ratione, fieri non credam? Quod si attente inspiciamus, nullum additamentum, nullum incrementum, magis simplex inveniemus, quam illud, quod semper eodem modo superaddit. Quod facile intelligemus, maximam temporis atque motus affinitatem inspicientes: sicut enim motus aequabilitas et uniformitas per temporum spatiorumque aequabilitates definitur ac concipitur (lacionem, enim, tunc aequabilem appellamus, cum temporibus aequalibus aequalia conficiuntur spatia), ita per easdem aequalitates partium temporis, incrementa celeritatis simpliciter facta percipere possumus; mente concipientes, motum illum uniformiter eodemque modo continue acceleratum esse, dum temporibus quibuscumque aequalibus aequalia ei superaddantur celeritatis additamenta. Adeo ut, sumptis quotcumque temporis particulis aequalibus a primo instanti in quo mobile recedit a quiete et descensum aggreditur, celeritatis gradus in prima cum secunda temporis particula acquisitus, duplus sit gradus quem acquisivit mobile in prima particula; gradus vero quem obtinet in tribus temporis particulis, triplus; quem in quatuor, quadruplus eiusdem gradus primi temporis: ita ut (clarioris intelligentiae causa), si mobile lacionem suam continuaret iuxta gradum seu momentum velocitatis in prima temporis particula acquisitae, motumque suum deinceps aequabiliter cum tali gradu extenderet, latio haec duplo esset tardior ea, quam iuxta gradum velocitatis in duabus temporis particulis acquisitae obtineret. Et sic a recta ratione absonum nequaquam esse videtur, si accipiamus, intentionem velocitatis fieri iuxta temporis extensionem; ex quo definitio motus, de quo acturi sumus, talis accipi potest: Motum aequabiliter, seu uniformiter, acceleratum dico illum, qui, a quiete recedens, temporibus aequalibus aequalia celeritatis momenta sibi superaddit.

[DEL MOTO NATURALMENTE ACCELERATO

Le proprietà del moto equabile sono state considerate nel libro precedente: ora dobbiamo trattare del moto accelerato.

E in primo luogo conviene investigare e spiegare la definizione che corrisponde esattamente al moto accelerato di cui si serve la natura. Infatti, sebbene sia lecito immaginare arbitrariamente qualche forma di moto e contemplare le proprietà che ne conseguono (così, infatti, coloro che si immaginarono linee spirali o conoidi, originate da certi movimenti, ne hanno lodevolmente dimostrate le proprietà argomentando *ex suppositione*, anche se di tali movimenti non usi la natura), tuttavia, dal momento che la natura si serve di una certa forma di accelerazione nei gravi discendenti, abbiamo stabilito di studiarne le proprietà, posto che la definizione che daremo del nostro moto accelerato abbia a corrispondere con l'essenza del moto naturalmente accelerato. Questa coincidenza crediamo di averla raggiunta finalmente, dopo lunghe riflessioni; soprattutto per il fatto che le proprietà, da noi successivamente dimostrate [*dalla nostra definizione*], sembrano esattamente corrispondere e coincidere con ciò che gli esperimenti naturali presentano ai sensi. Infine a studiare il moto naturalmente accelerato siamo stati condotti quasi per mano dall'osservazione della consuetudine e della regola seguite dalla natura medesima in

tutte le altre sue opere, nella cui attuazione suole far uso dei mezzi più immediati, più semplici, più facili. Ritengo infatti che non vi sia nessuno, il quale creda che si possa praticare il nuoto o il volo in una maniera più semplice e più facile di quella usata, per istinto naturale, dai pesci e dagli uccelli.

Quando, dunque, osservo che una pietra, che discende dall'alto a partire dalla quiete, acquista via via nuovi incrementi di velocità, perché non dovrei credere che tali aumenti avvengano secondo la più semplice e più ovvia proporzione? Ora, se consideriamo attentamente la cosa, non troveremo nessun aumento o incremento più semplice di quello che aumenta sempre nel medesimo modo. Il che facilmente intenderemo considerando la stretta connessione tra tempo e moto: come infatti la equabilità e uniformità del moto si definisce e si concepisce sulla base della eguaglianza dei tempi e degli spazi (infatti chiamiamo equabile il moto, allorché in tempi eguali vengono percorsi spazi eguali), così, mediante una medesima suddivisione uniforme del tempo, possiamo concepire che gli incrementi di velocità avvengano con [altrettanta] semplicità; [lo possiamo] in quanto stabiliamo in astratto che risulti uniformemente e, nel medesimo modo, continuamente accelerato, quel moto che in tempi eguali, comunque presi, acquista eguali aumenti di velocità. Cosicché, considerando un numero qualsiasi di frazioni di tempo eguali a partire dal primo istante in cui il mobile abbandona la quiete e comincia a scendere, il grado di velocità acquistato nella prima e seconda frazione di tempo prese insieme, è doppio rispetto al grado di velocità acquistato dal mobile nella prima frazione; e il grado che si ottiene in tre frazioni di tempo, è triplo; quello acquistato in quattro, quadruplo del medesimo grado del primo tempo: sì che (per maggiore chiarezza), se il mobile continuasse il suo moto secondo il grado o momento di velocità acquistato nella prima frazione di tempo e lo proseguisse uniformemente con tale grado, questo moto sarebbe due volte più lento di quello che [il mobile] otterrebbe secondo il grado di velocità acquistato in due frazioni di tempo. E così ci sembra di non discordare affatto dalla retta ragione se ammettiamo che l'intensità della velocità cresca secondo l'estensione del tempo [*la velocità sia proporzionale al tempo*].

Possiamo quindi ammettere la seguente definizione del moto di cui tratteremo: Moto equabilmente, ossia uniformemente accelerato, dico quello che, a partire dalla quiete, in tempi eguali acquista eguali momenti di velocità.]

[...]

SAGREDO: [...] sin qui abbiamo fermata la definizione del moto uniformemente accelerato, del quale si tratta ne i discorsi che seguono; ed è:

Motum aequabiliter, seu uniformiter, acceleratum dico illum, qui, a quiete recedens, temporibus aequalibus aequalia celeritatis momenta sibi superaddit.

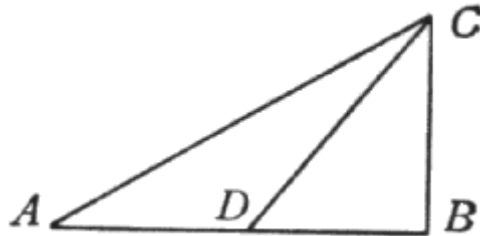
[Moto equabilmente, ossia uniformemente accelerato, diciamo quello che, a partire dalla quiete, in tempi eguali acquista eguali momenti di velocità.]

SALVIATI: Fermata cotal definizione, un solo principio domanda e suppone per vero l'Autore, cioè:

Accipio, gradus velocitatis eiusdem mobilis super diversas plano rum inclinationes acquisitos tunc esse aequales, cum eorumdem planorum elevationes aequales sint.

[Assumo che i gradi di velocità, acquistati da un medesimo mobile su piani diversamente inclinati, siano eguali allorché sono eguali le elevazioni di quei piani medesimi.]

Chiama la elevazione di un piano inclinato la perpendicolare che dal termine sublime di esso piano casca sopra la linea orizzontale prodotta per l'infimo termine di esso piano inclinato;

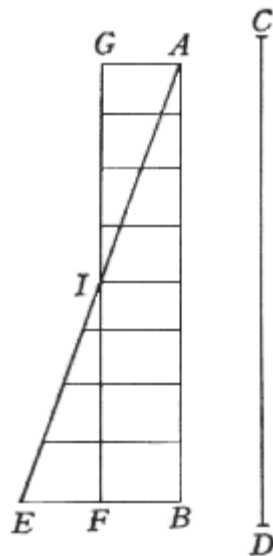


come, per intelligenza, essendo la linea AB parallela all'orizzonte, sopra 'l quale siano inclinati li due piani CA, CD , la perpendicolare CB , cadente sopra l'orizzontale BA , chiama l'Autore la elevazione de i piani CA, CD ; e suppone che i gradi di velocità del medesimo mobile scendente per li piani inclinati CA, CD , acquistati ne i termini A, D , siano eguali, per esser la loro elevazione l'istessa CB : e tanto anco si deve intendere il grado di velocità che il medesimo cadente dal punto C avrebbe nel termine B .

SAGR.: Veramente mi par che tal supposto abbia tanto del probabile, che meriti di esser senza controversia conceduto, intendendo sempre che si rimuovano tutti gl'impedimenti accidentarii ed esterni, e che i piani siano ben solidi e tersi ed il mobile di figura perfettissimamente rotonda, sì che ed il piano ed il mobile non abbiano scabrosità. Rimossi tutti i contrasti ed impedimenti, il lume naturale mi detta senza difficoltà, che una palla grave e perfettamente rotonda, scendendo per le linee CA, CD, CB , giugnerebbe ne i termini A, D, B con impeti eguali.

[...]

SALV.: [...] Supposto dall'Autore questo solo principio, passa alle proposizioni, dimostrativamente concludendole; delle quali la prima è questa:



THEOREMA I, PROPOSITIO 1.

Tempus in quo aliquod spatium a mobili conficitur latrone ex quiete uniformiter

accelerata, est aequale tempore in quo idem spatium conficeretur ab eodem mobili motu aequabili delato, cuius velocitatis gradus subduplus sit ad summum et ultimum gradum velocitatis prioris motus uniformiter accelerati.

Repraesentetur per extensionem AB tempus in quo a mobili latione uniformiter accelerata ex quiete in C conficiatur spatium CD; graduum autem velocitatis adauctae in instantibus temporis AB maximus et ultimus repraesentetur per EB, utcunque super AB constitutam; iunctaque AE, lineae omnes ex singulis punctis lineae AB ipsi BE aequidistanter actae, crescentes velocitatis gradus post instans A repraesentabunt. Divisa deinde BE bifariam in F, ductisque parallelis FG, AG ipsis BA, BF, parallelogrammum AGFB erit constitutum, triangulo AEB aequale, dividens suo latere G F bifariam AE in I: quodsi parallelae trianguli AEB usque ad IG extendantur, habebimus aggregatum parallelarum omnium in quadrilatero contentarum aequalem aggregatui comprehensarum in triangulo AEB; quae enim sunt in triangulo IEF, pares sunt cum contentis in triangulo GIA; eae vero quae habentur in trapezio AIFB, communes sunt. Cumque singulis et omnibus instantibus temporis AB respondeant singula et omnia puncta lineae AB, ex quibus actae parallelae in triangulo AEB comprehensae crescentes gradus velocitatis adauctae repraesentant, parallelae vero intra parallelogrammum contentae totidem gradus velocitatis non adauctae, sed aequabilis, itidem repraesentent; apparet, totidem velocitatis momenta absumpta esse in motu accelerato iuxta crescentes parallelas trianguli AEB, ac in motu aequabili iuxta parallelas parallelogrammi GB: quod enim momentorum deficit in prima motus accelerati medietate (deficiunt enim momenta per parallelas trianguli AGI repraesentata), reficitur a momentis per parallelas trianguli IEF repraesentatis. Patet igitur, aequalia /utura esse spatia tempore eodem a duobus mobilibus peracta, quorum unum motu ex quiete uniformiter accelerato moveatur, alterum vero motu aequabili iuxta momentum subduplum momenti maximi velocitatis accelerati motus: quod erat intentum.

THEOREMA II, PROPOSITIO II.

Si aliquod mobile motu uniformiter accelerato descendat ex quiete, spatia quibuscunque temporibus ab ipso peracta, sunt inter se in duplicata ratione eorundem temporum, nempe ut eorundem temporum quadrata.

[...]

COROLLARIUM I.

Hinc manifestum est, quod si fuerint quotcunque tempora aequalia consequenter sumpta a primo instanti seu principia lationis, utputa AD, DE, EF, FG, quibus conficiantur spatia HL, LM, MN, NI, ipsa spatia erunt inter se ut numeri impares ab unitate, scilicet ut 1, 3, 5, 7: haec enim est ratio excessuum quadratorum linearum sese aequaliter excedentium et quarum excessus est aequalis minimae ipsarum, seu dicamus quadratorum sese ab unitate consequentium. Dum igitur gradus velocitatis augentur iuxta seriem simplicem numerorum in temporibus aequalibus, spatia peracta iisdem temporibus incrementa suscipiunt iuxta seriem numerorum imparium ab unitate.

[TEOREMA1. PROPOSIZIONE 1

Il tempo in cui uno spazio dato è percorso da un mobile con moto uniformemente

accelerato a partire dalla quiete, è eguale al tempo in cui quel medesimo spazio sarebbe percorso dal medesimo mobile mosso di moto equabile, il cui grado di velocità sia sudduplo [*la metà*] del grado di velocità ultimo e massimo [raggiunto dal mobile] nel precedente moto uniformemente accelerato.

Con la lunghezza AB si rappresenti il tempo in cui venga percorso lo spazio CD da un mobile che si muova di moto uniformemente accelerato a partire dalla quiete in C; inoltre, fra i gradi della velocità accresciuta negli istanti del tempo AB, l'ultimo e massimo sia rappresentato dalla EB, comunque innalzata sulla AB; e, tracciata la congiungente AE, tutte le parallele alla BE condotte dai singoli punti della linea AB rappresenteranno i gradi di velocità crescenti a partire dall'istante A.

Divisa poi la BE a metà nel punto F, e condotte le parallele FG e AG (rispettivamente) alle BA e BF, si sarà costruito il parallelogramma AGFB, che è eguale (equivalente) al triangolo AEB e che col lato GF divide a metà la AE nel punto I: se poi si prolungano le parallele del triangolo AEB fino ad incontrare la IG, avremo che l'aggregato (l'insieme) di tutte le parallele contenute nel quadrilatero è eguale (equivalente) all'insieme di quelle comprese nel triangolo AEB; infatti, quelle che si trovano nel triangolo IEF sono pari a quelle contenute nel triangolo GIA; quanto a quelle che si trovano nel trapezio AIFB esse sono comuni.

Ora, siccome a tutti gli istanti del tempo AB corrispondono, uno ad uno, tutti i punti della linea AB, e poichè le parallele condotte da questi punti e comprese nel triangolo AEB rappresentano i gradi crescenti della velocità aumentata, mentre le parallele contenute nel parallelogramma rappresentano analogamente altrettanti gradi della velocità non accresciuta, ma equabile; è chiaro che nel moto accelerato secondo le parallele crescenti del triangolo AEB si avranno altrettanti momenti di velocità che nel moto equabile secondo le parallele del parallelogramma GB: infatti, quella parte dei momenti che manca nella prima metà del moto accelerato (infatti mancano i momenti rappresentati dalle parallele del triangolo AGI) è compensata dai momenti rappresentati dalle parallele del triangolo IEF.

E' dunque manifesto che saranno eguali gli spazi percorsi nella stesso tempo da due mobili, uno dei quali si muova di moto uniformemente accelerato a partire dalla quiete, l'altro invece di moto equabile secondo un momento di velocità sudduplo del momento massimo di velocità del moto accelerato: che è quello che intendevamo dimostrare.

TEOREMA 2. PROPOSIZIONE 2

Se un mobile scende, a partire dalla quiete, con moto uniformemente accelerato, gli spazi percorsi da esso in tempi qualsiasi stanno tra di loro in duplicata proporzione dei tempi [*in un rapporto pari al rapporto dei tempi moltiplicato per se stesso*], cioè stanno tra di loro come i quadrati dei tempi.

COROLLARIO 1

Di qui è manifesto che, se dal primo istante o inizio del moto avremo preso successivamente un numero qualsiasi di tempi eguali, come ad esempio AD, DE, EF, FG, nei quali siano percorsi gli spazi HL, LM, MN, NI, questi spazi staranno tra di loro come i numeri impari *ab unitate*, cioè come 1, 3, 5, 7: questa è infatti la proporzione tra gli eccessi dei quadrati delle linee che si eccedono egualmente e il cui eccesso è eguale alla minima di

esse, o vogliam dire tra i numeri quadrati consecutivi *ab unitate*. Pertanto, mentre i gradi di velocità aumentano in tempi eguali secondo la serie dei numeri semplici, gli spazi percorsi nei medesimi tempi acquistano incrementi secondo la serie dei numeri impari *ab unitate*.]

Proposte di lavoro

- Confronta la definizione di moto uniformemente accelerato data da Galileo con quella che trovi oggi riportata nei manuali di fisica.
- Come viene presentata oggi la legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato?
- Da uno stesso punto vengono lanciati verticalmente verso l'alto due gravi puntiformi, uno con velocità v_1 , l'altro con velocità v_2 dopo un tempo T . Si domanda se e quando si incontreranno (quesito proposto nel 1935 al concorso di ammissione alla Scuola Superiore Normale di Pisa).

Punto 2c6

L'esperimento del piano inclinato

La dimostrazione matematica del fatto che in un moto uniformemente accelerato gli spazi percorsi siano proporzionali al quadrato dei tempi risulta non molto chiara a Simplicio. Ed ecco allora la presentazione di quello che è un vero esperimento scientifico nel senso moderno del termine, uno dei più famosi: l'esperimento del piano inclinato.

Testo dai *Discorsi*

SIMPLICIO: [...] se tale sia poi l'accelerazione della quale si serve la natura nel moto de i suoi gravi descendent, io per ancora ne resto dubbioso; e però, per intelligenza mia e di altri simili a me, parmi che sarebbe stato opportuno in questo luogo arrear qualche esperienza di quelle che si è detto esservene molte, che in diversi casi s'accordano con le conclusioni dimostrate.

SALVIATI: Voi, da vero scienziato, fate una ben ragionevol domanda; e così si costuma e conviene nelle scienze le quali alle conclusioni naturali applicano le dimostrazioni matematiche, come si vede ne i prospettivi, negli astronomi, ne i meccanici, ne i musici ed altri, li quali con sensate esperienze confermano i principii loro, che sono i fondamenti di tutta la seguente struttura [...]. Circa dunque all'esperienze, non ha tralasciato l'Autor di farne; e per assicurarsi che l'accelerazione de i gravi naturalmente descendent segue nella proporzione sopradetta, molte volte mi son ritrovato io a farne la prova nel seguente modo, in sua compagnia.

In un regolo, o vogliàn dir corrente, di legno, lungo circa 12 braccia, e largo per un verso mezo braccio e per l'altro 3 dita, si era in questa minor larghezza incavato un canaletto, poco più largo d'un dito; tiratolo drittissimo, e, per averlo ben pulito e liscio, incollatovi dentro una carta pecora zannata e lustrata al possibile, si faceva in esso scendere una palla di bronzo durissimo, ben rotondata e pulita; costituito che si era il detto regolo pendente, elevando sopra il piano orizzontale una delle sue estremità un braccio o due ad arbitrio, si lasciava (come dico) scendere per il detto canale la palla, notando, nel modo che appresso dirò, il tempo che consumava nello scorrerlo tutto, replicando il medesimo atto molte volte

per assicurarsi bene della quantità del tempo, nel quale non si trovava mai differenza né anco della decima parte d'una battuta di polso. Fatta e stabilita precisamente tale operazione, facemmo scender la medesima palla solamente per la quarta parte della lunghezza di esso canale; e misurato il tempo della sua scesa, si trovava sempre puntualissimamente esser la metà dell'altro: e facendo poi l'esperienze di altre parti, esaminando ora il tempo di tutta la lunghezza col tempo della metà, o con quello delli duo terzi o de i $3/4$, o in conclusione con qualunque altra divisione, per esperienze ben cento volte replicate sempre s'incontrava, gli spazii passati esser tra di loro come i quadrati e i tempi, e questo in tutte le inclinazioni del piano, cioè del canale nel quale si faceva scender la palla; dove osservammo ancora, i tempi delle scese per diverse inclinazioni mantener esquisitamente tra di loro quella proporzione che più a basso troveremo essergli assegnata e dimostrata dall'Autore. Quanto poi alla misura del tempo, si teneva una gran secchia piena d'acqua, attaccata in alto, la quale per un sottil cannellino, saldatogli nel fondo, versava un sottil filo d'acqua, che s'andava ricevendo con un piccol bicchiero per tutto 'l tempo che la palla scendeva nel canale e nelle sue parti: le particelle poi dell'acqua, in tal guisa raccolte, s'andavano di volta in volta con esattissima bilancia pesando, dandoci le differenze e proporzioni de i pesi loro le differenze e proporzioni de i tempi; e questo con tal giustezza, che, come ho detto, tali operazioni, molte e molte volte replicate, già mai non differivano d'un notabil momento.

SIMP.: Gran sodisfazionearei ricevuta nel trovarmi presente a tali esperienze: ma sendo certo della vostra diligenza nel farle e fedeltà nel referirle, mi quieto, e le ammetto per sicurissime e vere.

Proposte di lavoro

- Dopo aver letto la descrizione che si trova nei *Discorsi*, spiega in modo chiaro in cosa consiste l'esperimento e a quali conclusioni esso ci porta.
- **Approfondimento.** Nell'esperienza di Galileo con il piano inclinato si intrecciano elementi teorici, matematici e sperimentali. Esponi per quali motivi tale esperimento ha suscitato tante discussioni all'interno della moderna storiografia. Per approfondire l'argomento puoi utilizzare i seguenti testi: G. Bonera, *Galileo e la caduta dei gravi*, Giornale di Fisica, volume 49 Aprile - Giugno, 2008; P. Crease, *Il prisma e il pendolo*, Longanesi, Milano, 2007; A. Frova, M. Marenzana, *Parola di Galileo*, RCS Libri, Milano, 1998; G. Johnson, *I dieci esperimenti più belli*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2009; G. Colicchia, *Il ritmo musicale nell'esperimento del piano inclinato di Galileo*, La Fisica nella Scuola, luglio-settembre 2010.

2d. La comunicazione della filosofia e della scienza

Punto 2d1

Le meraviglie del telescopio

Nel secolo della “meraviglia”, Galileo Galilei si meraviglia per le sue invenzioni e particolarmente del telescopio, in quanto con questo potente strumento comincia le sue osservazioni e speculazioni astronomiche, che innovano la lettura biblica e tolemaica del cielo.

Il *Sidereus Nuncius* appare così meraviglioso e la filosofia naturale primeggia, non basandosi su ipotesi e astratti ragionamenti: i fatti per leggere la natura risultano evidenti e superano i sillogismi degli scolastici e dei teologi.

Nella Giornata seconda del *Dialogo dei massimi sistemi* Galilei asserisce: “i ciechi solamente hanno bisogno di guida. Ma chi ha gli occhi nella fronte e nella mente, di quelli si ha da servire per iscorta”. Il lume soprannaturale, il mistero, il miracolo scompaiono di fronte allo splendore del lume naturale dell’occhio e della mente.

Tutte le scienze, prima presunte tali come l’astrologia, sembrano insignificanti di fronte alle meraviglie visibili col telescopio. Il mondo scientifico nuovo nasce così con l’astronomia, la geografia, la geometria, la fisica, l’ottica, e la meccanica; tutto questo è “la filosofia naturale”: “la filosofia è scritta nel libro grandissimo della natura”.

Ovviamente tale rivoluzione viene annunciata al mondo accademico europeo dell’epoca in latino, lingua da sempre usata tra i dotti e nelle università.

Testo dal *Sidereus Nuncius*

SERENISSIMO
COSMO MEDICES II
MAGNO ETRURIAE DUCI III

Præclarum sane atque humanitatis plenum eorum fuit institutum, qui excellentium virtute virorum res præclare gestas ab invidia tutari, eorumque immortalitate digna nomina ab oblivione atque interitu vindicare, conati sunt. Hinc ad memoriam posteritatis proditæ imagines, vel marmore insculptæ, vel ex ære fictæ; hinc positæ statuæ, tam pedestres, quam equestres; hinc columnarum atque pyramidum, ut inquit ille, sumptus ad sidera ducti; hinc denique urbes ædificatæ, eorumque insignitæ nominibus, quos grata posteritas æternitati commendandos existimavit. Eiusmodi est enim humanæ mentis conditio, ut nisi assiduis rerum simulacris in eam extrinsecus irrumpentibus pulsetur, omnis ex illa recordatio facile effluat.

Verum alii firmiora ac diuturniora spectantes, æternum summorum virorum præconium non saxi ac metallis, sed Musarum custodiæ et incorruptis litterarum monumentis consecrarunt. At quid ego ista commemoro? quasi vero humana solertia, his contenta regionibus, ulterius progredi non sit ausa; attamen longius illa prospiciens, cum optime intelligeret, omnia humana monumenta vi tempestate ac vetustate tandem interire, incorruptiora signa excogitavit, in quæ tempus edax atque invidiosa vetustas nullum sibi ius vindicaret. In cælum itaque migrans, clarissimorum Siderum notis sempiternis illis Orbibus eorum nomina consignavit, qui ob egregia ac prope divina facinora digni habiti sunt, qui una cum Astris ævo sempiterno fruerentur. Quam ob rem non prius Iovis,

Martis, Mercurii, Herculis cæterorumque heroum, quorum nominibus Stellæ appellantur, fama obscurabitur, quam ipsorum Siderum splendor extingatur. Hoc autem humanæ sagacitatis inventum, cum primis nobile ac mirandum, multorum iam sæculorum intervallo exolevit, priscis heroibus lucidas illas sedes occupantibus ac suo quasi iure tenentibus: in quorum cœtum frustra pietas Augusti Iulium Cæsarem cooptare conata est; nam cum Stellam suo tempore exortam, ex iis quas Græci Cometas, nostri Crinitas vocant, Iulium Sidus nuncupari voluisset, brevi illa evanescens, tantæ cupiditatis spem delusit. Atqui longe veriora ac feliciora, Princeps Serenissime, Celsitudini tuæ possumus augurari; nam vix dum in terris immortalia animi tui decora fulgere cœperunt, cum in Cælis lucida Sidera sese offerunt, quæ tanquam linguæ prestantissimas virtutes tuas in omne tempus loquantur ac celebrent. En igitur quatuor Sidera tuo inclyto nomini reservata, neque illa de gregario ac minus insigni inerrantium numero, sed ex illustri vagantium ordine; quæ quidem disparibus inter se motibus circum Iovis Stellam cæterarum nobilissimam, tanquam germana eius progenies, cursus suos orbisque conficiunt celeritate mirabili, interea dum unanimi concordia circa mundi centrum, circa Solem nempe ipsum, omnia simul duodecimo quoque anno magnas convolutiones absolvunt. Ut autem inclito Celsitudinis tuæ nomini præ ceteris novos hosce Planetas destinarem, ipsemet Siderum Opifex perspicuis argumentis me admonere visus est. Etenim, quemadmodum hæ Stellæ, tanquam Iove digna proles, nunquam ab illius latere, nisi exiguo intervallo, discedunt; ita quis ignorat clementiam, animi mansuetudinem, morum suavitatem, regii sanguinis splendorem, in actionibus maiestatem, auctoritatis et Imperii in alios amplitudinem, quæ quidem omnia in tua Celsitudine sibi domicilium ac sedem collocarunt, quis, inquam, ignorat, hæc omnia ex benignissimo Iovis astro, secundum Deum omnium bonorum fontem, emanare? Iuppiter, Iuppiter, inquam, a primo Celsitudinis tuæ ortu, turbidos horizontis vapores iam transgressus, mediumque cæli cardinem occupans, orientalemque angulum sua regia illustrans, felicissimum partum ex sublimi illo throno prospexit, omnemque splendorem atque amplitudinem suam in purissimum aërem profudit, ut universam illam vim ac potestatem tenerum corpusculum una cum animo, nobilioribus ornamentis iam a Deo decorato, primo spiritu hauriret. Verum, quid ego probabilibus utor argumentationibus, cum id necessaria propemodum ratione concludere ac demonstrare queam? Placuit Deo Optimo Maximo, ut a Serenissimis parentibus tuis non indignus existimarer, qui Celsitudini tuæ in tradendis Mathematicis disciplinis operam navarem; quod quidem præstiti quatuor superioribus annis proxime elapsis, eo anni tempore, quo a severioribus studiis ocium esse consuevit. Quo circa cum mihi divinitus plane contigerit, ut Celsitudini tuæ inservirem, atque ideo incredibilis clementiæ ac benignitatis tuæ radios propius exceperim, quid mirum si animus meus adeo incaluit, ut nihil aliud propemodum dies noctesque meditetur, quam ut ego, qui non solum animo, sed etiam ipso ortu ac natura, sub tua dominatione sum, tuæ gloriæ cupidissimus et quam gratissimus erga te esse cognoscar? Quæ cum ita sint, cum, te Auspice, COSME Serenissime, has Stellæ superioribus Astronomis omnibus incognitas exploraverim, optimo iure eas Augustissimo Prosapiæ tuæ nomine insignire decrevi. Quod si illas primus indagavi, quis me iure reprehendat, si iisdem quoque nomen imposuero, ac MEDICEA SIDERA appellaro? sperans fore, ut tantum dignitatis ex hac appellatione iis Sideribus accedat, quantum alia cæteris Heroibus attulerunt. Nam, ut taceam de Serenissimis tuis Maioribus, quorum

gloriam sempiternam omnium historiarum monumenta testantur, sola tua virtus, Maxime Heros, illis Astris impertiri potest nominis immortalitatem. Cui enim dubium esse potest, quin, quam tui expectationem felicissimis imperii auspiciis concitasti, quamvis summam, eam non solum sustineas ac tuearis, verum etiam longo intervallo superaturus sis? ut cum alios tui similes viceris, tecum nihilominus ipse certes, ac te ipso ac magnitudine tua in dies maior evadas.

Suscipe itaque, Clementissime Princeps, hanc tibi ab Astris reservatam gentiliciam gloriam, et illis divinis bonis, quæ non tam a Stellis, quam a Stellarum Opifice ac Moderatore Deo, tibi deferuntur, quam diutissime fruire.

Datum Patavii, 4 Idus Martii, MDCX.

Celsitudinis tuæ

Addictissimus Servus
Galileus Galileus.

Gli Eccellentissimi Signori Capi dell'Ecc. Cons. de' X infrascritti, avuta fede dalli Signori Reformatori del Studio di Padova per relazione delli due a questo deputati, cioè dal Rever. P. Inquisitor, e dal circospetto Secretario del Senato, Gio. Maraviglia, con giuramento, come nel libro intitolato: SIDEREUS NUNCIUS etc. di D. Galileo Galilei non si trova alcuna cosa contraria alla Santa Fede Cattolica, Prencipi e buoni costumi, e che è degno di stampa, concedono licenza che possi esser stampato in questa Città.

Datum die primo Martii 1610.

D.M. Ant. Valaresso

D. Nicolò Bon

D. Lunardo Marcello

Capi dell'Ecc. Cons. de' X

Illustrissimi Consilii X Secretarius
Bartholomæus Cominus.

1610, a dì 8 Marzo. Regist. in libro a car. 39.

Ioan. Baptista Breatto off.
Con. Blasph. Coad.

ASTRONOMICUS NUNCIUS

OBSERVATIONES RECENS HABITAS NOVI PERSPICILLI BENEFICIO IN LUNÆ
FACIE, LACTEO CIRCULO STELLISQUE NEBULOSIS, INNUMERIS FIXIS, NECNON IN
QUATUOR PLANETIS MEDICEA SIDERA NUNCUPATIS, NUNQUAM CONSPECTIS
ADHUC, CONTINENS ATQUE DECLARANS



Magna equidem in hac exigua tractatione singulis de natura speculantibus inspicienda contemplandaque propono. Magna, inquam, tum ob rei ipsius præstantiam, tum ob inauditam per ævum novitatem, tum etiam propter Organum, cuius beneficio eadem sensui nostro obviam sese fecerunt.

Magnum sane est, supra numerosam inerrantium Stellarum multitudinem, quæ naturali facultate in hunc usque diem conspici potuerunt, alias innumeras superaddere oculisque palam exponere, antehac conspectas nunquam, et quæ veteres ac notas plusquam supra decuplam multipliciter superent.

Pulcherrimum atque visu iucundissimum est, lunare corpus, per sex denas fere terrestres semidiametros a nobis remotum, tam ex propinquo intueri, ac si per duas tantum easdem dimensiones distaret; adeo ut eiusdem Lunæ diameter vicibus quasi terdenis, superficies vero noningentis, solidum autem corpus vicibus proxime viginti septem millibus, maius appareat, quam dum libera tantum oculorum acie spectatur: ex quo deinde sensata certitudine quispiam intelligat, Lunam superficie leni et perpolita nequaquam esse indutam, sed aspera et inæquali; ac, veluti ipsiusmet Telluris facies, ingentibus tumoribus, profundis lacunis atque anfractibus undiquaque confertam existere.

Altercationes insuper de Galaxia, seu de Lacteo circulo, substulisse, eiusque essentiam sensui, nedum intellectui, manifestasse, parvi momenti existimandum minime videtur; insuperque substantiam Stellarum, quas Nebulosas hucusque Astronomorum quilibet appellavit, digito demonstrare, longeque aliam esse quam creditum hactenus est, iocundum erit atque perpulcrum.

Verum, quod omnem admirationem longe superat, quodve admonitos faciendos cunctos Astronomos atque Philosophos nos apprime impulit, illud est, quod scilicet quatuor Erraticas Stellas, nemini eorum qui ante nos cognitatas aut observatas, adinvenimus, quæ circa Stellam quandam insignem e numero cognitarum, instar Veneris atque Mercurii circa Solem, suas habent periodos, eamque modo præeunt, modo subsequuntur, nunquam extra certos limites ab illa digredientes. Quæ omnia ope Perspicilli a me excogitati, divina prius illuminante gratia, paucis abhinc diebus, reperta atque observata fuerunt.

Alia forte præstantiora, vel a me, vel ab aliis, in dies adinvenientur consimilis Organi beneficio; cuius formam et apparatus, necnon illius excogitandi occasionem, prius breviter commemorabo, deinde habitaram a me observationum historiam recensebo.

Proposte di lavoro

- Riflettete sul significato letterale del titolo e sull'importanza della dedica, che rientra nella tradizione letteraria, riflettete inoltre sul rapporto tra intellettuali e potere.

- Analizzate la prosa classica ciceroniana, che contraddistingue il testo nella sua chiara eleganza stilistica.
- Evidenziate nell'incipit dell'*Astronomicus Nuncius* il lessico della "novità" e della "meraviglia".

Punto 2d2

Forza espressiva della lingua fiorentina

Galileo Galilei dal 1611, dopo il suo trasferimento a Firenze, preferisce scrivere in volgare, distinguendosi dalla tradizione accademica, che negli scritti scientifici e filosofici usava il latino.

Le tre lettere al Welser sulle macchie solari indicano il suo chiaro disegno di voler utilizzare una lingua viva, pur rischiando di affievolire le relazioni con gli altri scienziati e filosofi europei. Keplero lo rimprovera per questa sua scelta, mentre editori stranieri continuano a chiedergli traduzioni in latino dei suoi scritti.

Testo da *Le macchie solari*

Dello scriver di scienza in volgar fiorentino.

E della pedanteria peripatetica.

Dispiacemi ancora della difficoltà che apporta ad Apelle l'aver io scritto nella nostra favella fiorentina; il che ho fatto per diversi rispetti, uno de i quali è il non volere in certo modo abusare la ricchezza e perfezion di tal lingua, bastevole a trattare e spiegare e concetti di tutte le facultadi; e però nelle nostre Accademie e da tutta la città vien gradite lo scrivere più in questo che in altro idioma. Ma in oltre ci ho auto un altro mio particolar interesse, ed è il non privarmi delle risposte di V.S. in tal lingua, vedute da me e da gli amici miei con molto maggior diletto e meraviglia che se fossero scritte del più purgato stile latino; e parci, nel leggere lettere di locuzione tanto propria, che Firenze estenda i suoi confini, anzi il recinto delle sue mura, sino in Augusta. [...]

V, 189

Proposte di lavoro

- Riflettete su come Galilei, con un discorso rapido e scarno ma in una lingua viva, espliciti la volontà di stabilire un legame diretto tra il mondo scientifico e il mondo tecnico, con una nuova svolta da scienziato moderno.
- Approfondite la questione della lingua per l'unificazione su scala nazionale della lingua letteraria, proposta con forza dopo l'introduzione della stampa.

Punto 2d3

Metafore barocche nella prosa galileiana

Testo dal *Saggiatore*

«Ho voluto intitolare [la mia opera] con il nome di *Saggiatore*, trattenendomi dentro la medesima metafora presa dal Sarsi. Ma perché m'è paruto che, nel ponderare egli le proposizioni del signor Guiducci, si sia servito di una stadera un poco troppo grossa, io

ho voluto servirmi d'una bilancia da saggiatori, che sono così esatte che tirano a meno di un sessantesimo di grano: e con questa usando ogni diligenza possibile, non tralasciando proposizione alcuna prodotta da quello, farò di tutte il lor saggio [...] Molto più veridicamente l'avrebbe egli potuta intitolare *L'astronomico e filosofico scorpione*, costellazione dal nostro sovrano poeta Dante chiamata

*figura del freddo animale
Che colla coda percuote la gente*

E veramente non vi mancano punture contro di me, e tanto più gravi di quelle degli scorpioni, quanto questi, come amici dell'uomo, non feriscono se prima non vengono offesi e provocati, e quello morde me che mai ne pur col pensiero lo molestai. Ma mia ventura, che so l'antidoto e rimedio [...] a cotali punture! Infrangerò dunque e stropiccerò l'istesso scorpione sopra le ferite, onde il veleno risorbito dal proprio cadavero lasci me libero e sano».

Proposte di lavoro

- Qual è il significato delle due metafore di gusto barocco? Rispondi dopo aver parafrasato il testo.
- **Approfondimento.** Qual è la funzione delle metafore e degli stilemi di gusto barocco entro la prosa di norma classicheggiante di Galileo? Svolgi una ricerca sull'argomento. Una tesi interessante è quella sostenuta al riguardo da A. Battistini, in un saggio intitolato *Gli aculei barocchi della prosa di Galileo*.

Punto 2d4

La lingua greca della comunicazione filosofica e scientifica

1. Platone, *Leggi*

Ateniense: Riguardo agli astri accade uno straordinario e grande portento e in nessun modo assolutamente tollerabile.

Clinia: Qual è?

Ateniense: Si dice [...] che non bisogna indagare sulla natura del dio maggiore e di tutto l'universo, che non bisogna darsi da fare a cercare le cause [...]. Quello che dico è una cosa contraria all'opinione generale e si potrebbe pensare anche sconveniente ai vecchi, d'altra parte poiché uno ritiene una conoscenza bella, vera, utile allo stato, e assolutamente gradita alla divinità, non può in nessun modo tacerne.

Clinia: Mi par giusto, ma quale conoscenza di tal fatta potremo trovare per gli astri?

Ateniense: Carissimi, ora noi greci mentiamo tutti, per così dire, sui grandi dei, il Sole e la Luna.

Clinia: E la menzogna qual è?

Ateniense: Diciamo che non percorrono mai la stessa strada nel cielo, né loro né altri astri con loro, e ciò quando li chiamiamo "pianeti".

Clinia: Per Zeus, ospite, questo che stai dicendo è vero; infatti molte volte nella mia vita ho visto io stesso Lucifero e Vespero e altri non percorrere mai lo stesso cammino, vagare d'ogni parte nel cielo e ho visto il Sole e la Luna fare quello che sempre tutti sappiamo. [...]

Ateniense: - Miei cari, non è corretta questa dottrina e cioè che qualche volta la Luna, il Sole e gli altri astri sono erranti; è vero tutto il contrario di questo – ognuno di essi infatti percorre la stessa via, non molte, ma una sempre in cerchio e sembra muoversi per molte. Vespero e Lucifero sono presentati come due differenti corpi celesti. Si tratta in realtà dello stesso pianeta, Venere, chiamato in due modi diversi perché si mostra talvolta in associazione diurna con il Sole (alla mattina), talvolta in associazione notturna (dopo il tramonto).

(Da Platone, Leggi 821a-822a, tr. it. Attilio Zadro, in id. Opere, Laterza, Bari 1966)

Testo greco

{AΘ.} Καὶ μὴν θαυμά γε περὶ αὐτὰ ἐστὶν μέγα καὶ οὐδαμῶς οὐδαμῆ ἀνεκτόν. 821.(a.)

{ΚΛ.} Τὸ ποῖον δῆ;

{AΘ.} Τὸν μέγιστον θεὸν καὶ ὅλον τὸν κόσμον φαμέν οὔτε ζητεῖν δεῖν οὔτε πολυπραγμονεῖν τὰς αἰτίας ἐρευνῶντας—οὐ γὰρ οὐδ' ὅσιον εἶναι—τὸ δὲ ἔοικεν πᾶν τούτου τούναντίον γιγνόμενον ὀρθῶς ἂν γίγνεσθαι. (5)

{ΚΛ.} Πῶς εἶπες;

{AΘ.} Παράδοξον μὲν τὸ λεγόμενον, καὶ οὐκ ἂν πρεσβύταις τις οἰηθείη πρέπειν· τὸ δὲ ἐπειδὴν τίς τι καλόν τε οἰηθῆ καὶ ἀληθὲς μάθημα εἶναι καὶ πόλει συμφέρον καὶ τῷ θεῷ (b.) παντάπασιν φίλον, οὐδενὶ δὲ τρόπῳ δυνατὸν ἐστὶν ἔτι μὴ φράζειν.

{ΚΛ.} Εἰκότα λέγεις· ἀλλ' ἄστρον περὶ μάθημα τί τοιοῦτον ἀνευρήσομεν;

{AΘ.} Ὡ ἀγαθοί, καταψευδόμεθα νῦν ὡς ἔπος εἶπεῖν (5) Ἕλληνες πάντες μεγάλων θεῶν, Ἡλίου τε ἅμα καὶ Σελήνης.

{ΚΛ.} Τὸ ποῖον δῆ ψεῦδος;

AΘ.} Φαμέν αὐτὰ οὐδέποτε τὴν αὐτὴν ὁδὸν ἰέναι, καὶ ἄλλ' ἅττα ἄστρα μετὰ τούτων, ἐπονομάζοντες πλανητὰ αὐτά. (c.)

{ΚΛ.} Νῆ τὸν Δία, ὧ ξένη, ἀληθὲς τοῦτο λέγεις· ἐν γὰρ δῆ τῷ βίῳ πολλάκις ἐώρακα καὶ αὐτὸς τὸν τε Ἐωσφόρον καὶ τὸν Ἑσπερον καὶ ἄλλους τινὰς οὐδέποτε ἰόντας εἰς τὸν αὐτὸν δρόμον ἀλλὰ πάντη πλανωμένους, τὸν δὲ ἥλιόν που καὶ σελήνην δρῶντας ταῦθ' ἃ ἀεὶ πάντες συνεπιστάμεθα.

{AΘ.} Πειρατέον. οὐ γὰρ ἐστὶ τοῦτο, ὧ ἄριστοι, τὸ δόγμα ὀρθὸν περὶ σελήνης τε καὶ ἥλιου καὶ τῶν ἄλλων ἄστρον, ὡς (5) ἄρα πλανᾶται ποτε, πᾶν δὲ τούναντίον ἔχει τούτου—τὴν αὐτὴν γὰρ αὐτῶν ὁδὸν ἕκαστον καὶ οὐ πολλὰς ἀλλὰ μίαν ἀεὶ κύκλῳ διεξέρχεται, φαίνεται δὲ πολλὰς φερόμενον.

2. Aristotele, *De Coelo*

«Tutti i corpi e le grandezze naturali, noi diciamo, sono per se stessi mobili secondo il luogo: diciamo infatti che la natura è il principio di movimento in essi. Il moto locale, che è quello che noi chiamiamo “traslazione” (φορά), è sempre o rettilineo, o circolare, o misto di questi due: perché semplici sono questi due soli. E la ragione è che ci sono anche due sole grandezze semplici, la [linea] retta e quella circolare. Circolare è il movimento intorno

al centro, rettilineo, quello verso l'alto e il basso. Verso l'alto, dico poi il moto che s'allontana dal centro, verso il basso, quello in direzione del centro. Ne consegue che ogni moto semplice è di necessità o dal centro, o verso il centro, o intorno al centro. [...] ora, poiché i corpi sono o semplici, o composti di semplici – dico semplici quelli in cui il principio del movimento è inerente alla loro stessa natura, come il fuoco e la terra, e le loro specie e i loro congeneri – anche i movimenti saranno di necessità o semplici o comunque composti, semplici quelli dei corpi semplici, composti quelli dei corpi composti, questi ultimi poi si muovono secondo la parte che prevale.

Se dunque esiste un moto semplice, e se il moto circolare è semplice, e il moto dei corpi semplici è semplice e il moto semplice è proprio dei corpi semplici – ma anche se il moto è il moto di un corpo composto, sarà secondo la parte che prevale -, ne viene che deve necessariamente esistere un corpo semplice che in virtù della sua natura abbia in proprio di muoversi di moto circolare, e infatti, solo per effetto di una costrizione si ammette che un corpo segua il moto di un altro, e da esso diverso, ma secondo natura questo è impossibile, se è vero che per ogni corpo semplice non c'è che un solo movimento naturale».

(Da Aristotele, *De caelo*, 268b15 – 269 a..., tr. it. in id. *De caelo*, a cura di Oddone Longo, Sansoni, Firenze, 1962)

Testo greco

Πάντα γὰρ τὰ φυσικὰ σώματα καὶ μεγέθη καθ' αὐτὰ κινητὰ λέγομεν εἶναι κατὰ (15) τόπον· τὴν γὰρ φύσιν κινήσεως ἀρχὴν εἶναι φαμεν αὐτοῖς. Πᾶσα δὲ κίνησις ὅση κατὰ τόπον, ἢν καλοῦμεν φορᾶν, ἢ εὐθεῖα ἢ κύκλω ἢ ἐκ τούτων μικτή· ἀπλαῖ γὰρ αὗται δύο μόναι. Αἴτιον δ' ὅτι καὶ τὰ μεγέθη ταῦτα ἀπλᾶ μόνον, ἢ τ' εὐθεῖα καὶ ἢ περιφερῆς. Κύκλω μὲν οὖν ἔστιν ἢ περὶ τὸ μέσον, εὐθεῖα δ' ἢ ἄνω καὶ κάτω. Λέγω δ' ἄνω μὲν τὴν ἀπὸ τοῦ μέσου, κάτω δὲ τὴν ἐπὶ τὸ μέσον.

Ἐπεὶ δὲ τῶν σωμάτων τὰ μὲν ἔστιν ἀπλᾶ τὰ δὲ σύνθετα ἐκ τούτων (λέγω δ' ἀπλᾶ μὲν ὅσα κινήσεως ἀρχὴν ἔχει κατὰ φύσιν, οἷον πῦρ καὶ γῆν καὶ τὰ τούτων εἶδη καὶ τὰ συγγενῆ τούτοις), ἀνάγκη καὶ τὰς κινήσεις εἶναι τὰς μὲν ἀπλᾶς τὰς δὲ μικτὰς πως, (269a.) καὶ τῶν μὲν ἀπλῶν ἀπλᾶς, μικτὰς δὲ τῶν συνθέτων, κινεῖσθαι δὲ κατὰ τὸ ἐπικρατοῦν.

Εἴπερ οὖν ἔστιν ἀπλῆ κίνησις, ἀπλῆ δ' ἢ κύκλω κίνησις, καὶ τοῦ τε ἀπλοῦ σώματος ἀπλῆ ἢ κίνησις καὶ ἢ ἀπλῆ κίνησις ἀπλοῦ σώματος (καὶ γὰρ ἂν συνθέτου ἦ, κατὰ τὸ ἐπικρατοῦν ἔσται), ἀναγκαῖον εἶναι τι σῶμα ἀπλοῦν ὃ πέφυκε φέρεσθαι τὴν κύκλω κίνησιν κατὰ τὴν ἑαυτοῦ φύσιν· βία μὲν γὰρ ἐνδέχεται τὴν ἄλλου καὶ ἑτέρου, κατὰ φύσιν δὲ ἀδύνατον, εἴπερ μία ἐκάστου κίνησις ἢ κατὰ φύσιν τῶν ἀπλῶν.

3. Archimede, *Arenario*

«Aristarco di Samo, poi, espone per iscritto alcune ipotesi secondo le quali si ricava che il cosmo è più volte maggiore di quello [che allora si riteneva]. Suppone anche che le stelle fisse [cioè, la volta stellata] e il sole rimangano immobili, e che la terra giri, seguendo un cerchio, intorno al sole che sta nel mezzo dell'orbita».

(Da Archimede, *Arenario*, in G. Cambiano, *Filosofia e scienze nel mondo ellenistico*, Loescher, Torino, 1976).

Testo greco

Ἀρίσταρχος δὲ ὁ Σάμιος [...] Ὑποτίθεται γὰρ τὰ μὲν ἀπλανέα τῶν ἄστρον καὶ τὸν ἄλιον μένειν ἀκίνητον, τὰν δὲ γᾶν περιφέρεισθαι περὶ τὸν ἄλιον κατὰ κύκλου περιφέρειαν, ὅς ἐστιν ἐν μέσῳ τῷ δρόμῳ κείμενος,

(Aristarco di Samo ipotizza che fra le stelle ce ne siano alcune fisse e il sole resti immobile, la terra invece giri con un moto circolare intorno al sole, che è posto al centro del suo percorso)

Τοῦτό γ' εὐδηλον ὡς ἀδύνατόν ἐστιν (ciò è chiaramente impossibile)

(Da Archimede, *Arenario*, II, 135)

Proposte di lavoro

- Confrontate e motivate l'uso del testo dialogico e del testo argomentativo nei tre testi.
- Individuate le parole chiave a sostegno delle rispettive tesi e analizzate la capacità di sintesi filosofica insita nel lessico greco dei tre testi.
- Osservate gli elementi dorici nel testo di Archimede e indicate le corrispondenze attiche.