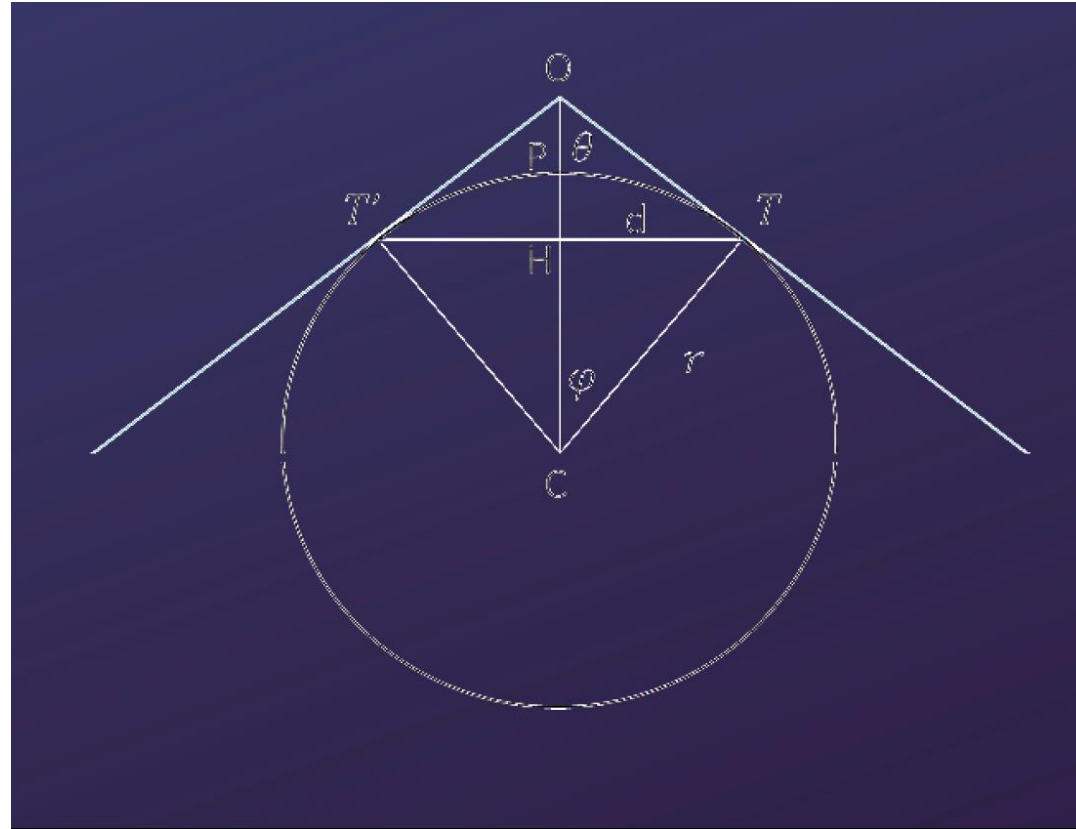


L'ottica di Euclide

un esempio di teoria scientifica ellenistica



marco.mazzeo@unisalento.it

UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

Contenuto e Riassunto

L'ottica di Euclide: un esempio di teoria scientifica ellenistica

Marco Mazzeo

Platone sosteneva che poiché due oggetti di pari grandezza posti a distanza diversa appaiono di dimensioni diverse, e dunque essendo i sensi ingannevoli, non fosse possibile sviluppare alcuna scienza della visione. Euclide pochi decenni dopo svilupperà invece la prima teoria scientifica della visione, chiamata da lì in avanti "Ottica" termine derivante da $\delta\psi\iota\varsigma$ ovvero "vista" o "raggio visivo". In questo seminario si illustrerà il trattato di Euclide che fa riferimento alla redazione A, dimostrando i risultati più notevoli, tra cui l'idea di risoluzione visiva, la prospettiva e la relatività del moto, che va retrodatata di 1800 anni. Inoltre si prenderà il trattato euclideo come un esempio di fisica ellenistica, mostrando la sua interrelazione con teorie ad essa coeve come l'eliocentrismo di Aristarco di Samo, o ad essa posteriori come l'ottica di Newton.



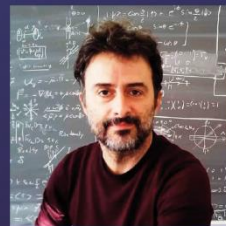
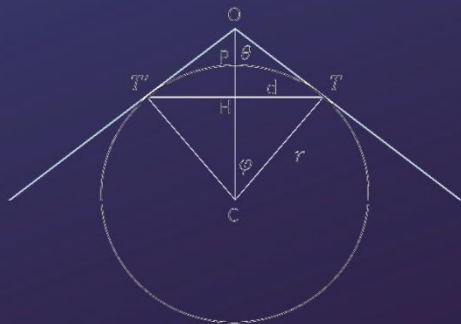
15 maggio 2023



Aula Anni (F8)



Ore 15:00-17:00



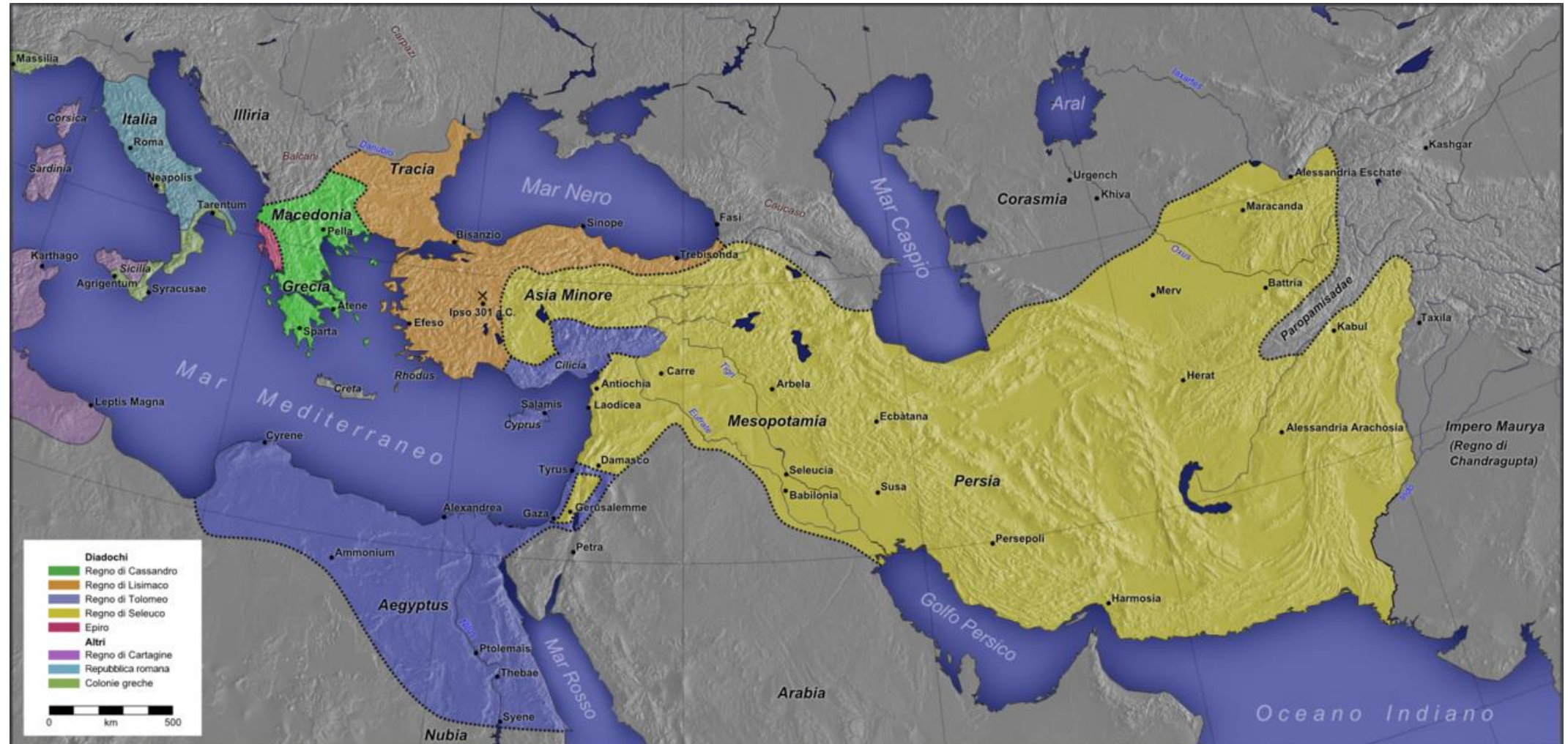
marco.mazzeo@unisalento.it



- ☐ Introduzione: Il periodo ellenistico
- ☐ Parte I: Termini
- ☐ Parte II: Raggi Visuali
- ☐ Parte III: Teoremi
- ☐ Parte IV: il contesto culturale e i Moderni

Periodo ellenistico

Periodo che va dalla morte di Alessandro Magno nel 323 a.C. alla conquista dell'Egitto da parte di Roma nel 30 a.C., periodo nel quale la cultura e la lingua greca si diffusero e dominarono l'area mediterranea.



Periodo ellenistico

Le fonti storiche pervenuteci relative al periodo ellenistico si riducono a Diodoro Siculo (Biblioteca Historica), ovvero sino al 301 a.C., e a Polibio (Historiae) che iniziano dal 221 a.C.

Per il periodo intermedio occorre risalire a reperti archeologici e fonti del periodo romano.

Regno di Egitto, che durò sino al 30 a.C.

Regno di Macedonia, che comprendeva la Grecia e durò fino al 168 a.C.,

Regno di Siria, che divenne colonia romana nel 63 a.C.,

Regno di Pergamo, che fu annesso dai Romani nel 163 a.C.,

Regno di Epiro,

Tracia Battriana,

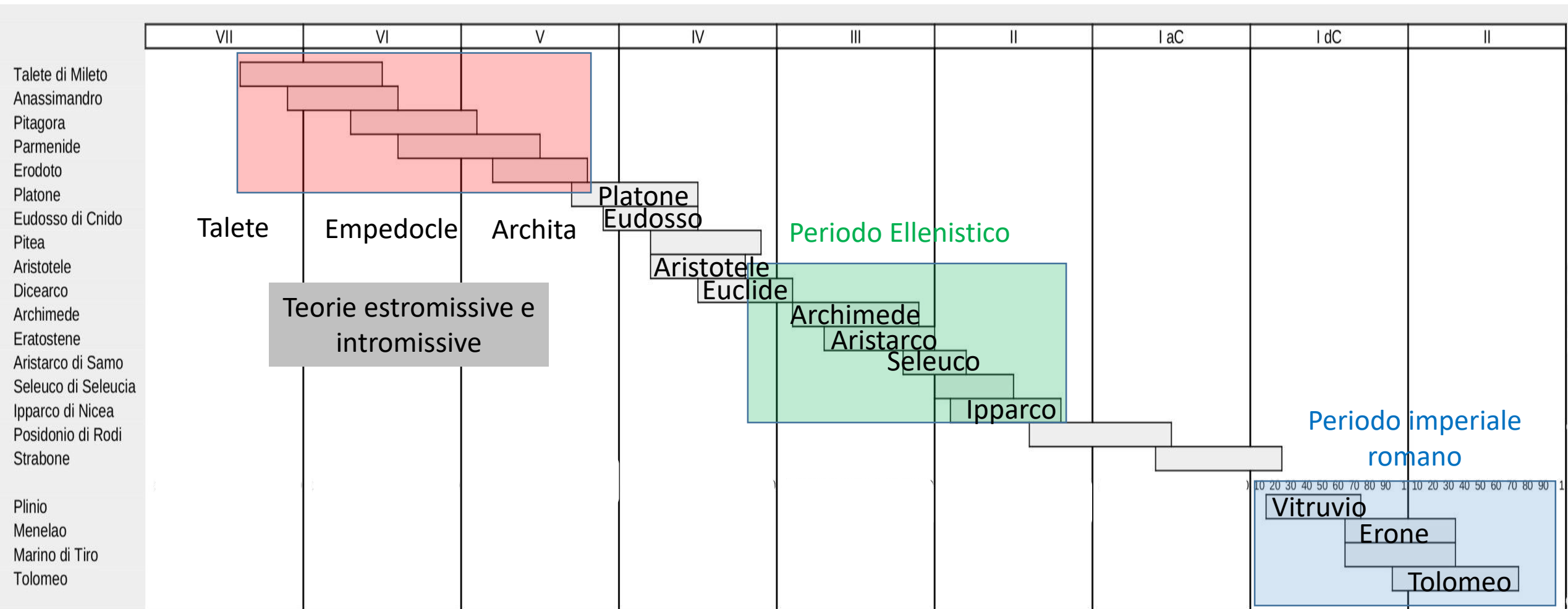
Bitinia

Regno dei Parti.

I governanti erano di origine greca e, pur rispettando le usanze, religioni e organizzazioni locali, diedero origine ad un'unità culturale sovranazionale e alla diffusione della cultura e della razionalità greca.

Cronologia

Periodo Ellenico



Chi si occupò di Ottica: Euclide Archimede Diocle Ipparco Tolomeo

Teone, Ipazia →

PARTE I

Termini

L'Ottica di Euclide: un modello matematico della visione secondo il canone degli Elementi

ΟΡΟΙ

<1> Ὑποκείσθω τὰς ἀπὸ τοῦ ὀφθαλμοῦ ἐξαγομένας εὐθείας γραμμὰς φέρεσθαι διάστημα μεγεθῶν μεγάλων.

<2> καὶ τὸ [μὲν] ὑπὸ τῶν ὀψεων περιεχόμενον σχῆμα εἶναι κῶνον τὴν κορυφὴν μὲν ἔχοντα ἐν τῷ ὀφθαλμῷ τὴν δὲ βάσιν πρὸς τοῖς πέρασι τῶν ὁρωμένων.

<3> καὶ ὁρᾶσθαι μὲν ταῦτα, πρὸς ἃ ἂν αἱ ὀψεις προσπίπτωσι, μὴ ὁρᾶσθαι δέ, πρὸς ἃ ἂν μὴ προσπίπτωσιν αἱ ὀψεις.

<4> καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μείζονος γωνίας ὁρώμενα μείζονα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἐλάττονος ἐλάττονα, ἴσα δὲ τὰ ὑπὸ ἴσων γωνιῶν ὁρώμενα.

<5> καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μετεωροτέρων ἀκτίνων ὁρώμενα μετεωρότερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ταπεινοτέρων ταπεινότερα.

<6> καὶ ὁμοίως τὰ μὲν ὑπὸ δεξιωτέρων ἀκτίνων ὁρώμενα δεξιώτερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἀριστερωτέρων ἀριστερώτερα.

<7> τὰ δὲ ὑπὸ πλειόνων γωνιῶν ὁρώμενα ἀκριβέστερον φαίνεσθαι.

TERMINI

<1> Sia stato supposto che le linee rette condotte fuori dall'occhio si muovano per un intervallo di grandi grandezze.

<2> E che la figura compresa dai raggi visivi sia un cono che ha il vertice nell'occhio, e la base sui limiti di ciò che è visto.

<3> E che sia visto ciò su cui incidano i raggi visivi, e non sia visto ciò su cui non incidano i raggi visivi.

<4> E che ciò che è visto sotto un angolo maggiore appaia maggiore, quello sotto <un angolo> minore minore, e uguale ciò che è visto sotto angoli uguali.

<5> E che ciò che è visto da raggi più alti appaia più alto, quello da <raggi> più bassi più basso.

<6> E che similmente ciò che è visto da raggi più a destra appaia più a destra, quello da <raggi> più a sinistra più a sinistra. <7> E che ciò che è visto sotto più angoli appaia con maggiore precisione.

Un esempio parallelo: Elementi

I

ΟΡΟΙ

<1> **Σημείον** ἐστίν, οὐ μέρος οὐθέν. <2> Γραμμὴ δὲ μήκος ἀπλᾶτēs. <3> Γραμμῆς δὲ πέρατα σημεῖα.
<4> **Εὐθεῖα γραμμὴ** ἐστίν, ἥτις ἐξ ἴσου τοῖς ἐφ' ἑαυτῆς σημεῖοις κεῖται. <5> Ἐπιφάνεια δὲ ἐστίν, ὃ μήκος καὶ πλάτος μόνον ἔχει. <6> Ἐπιφανείας δὲ πέρατα γραμμαί.
<7> Ἐπίπεδος ἐπιφάνειά ἐστίν, ἥτις ἐξ ἴσου ταῖς ἐφ' ἑαυτῆς εὐθείαις κεῖται. <8> Ἐπίπεδος δὲ γωνία ἐστίν ἡ ἐν ἐπίπεδῳ δύο γραμμῶν ἀπτομένων ἀλλήλων καὶ μὴ ἐπ' εὐθείας κειμένων πρὸς ἀλλήλας τῶν γραμμῶν κλίσις. <9> Ὅταν δὲ αἱ περιέχουσιν τὴν γωνίαν γραμμαὶ εὐθεῖαι ὦσιν, εὐθύγραμμος καλεῖται ἡ γωνία. <10> Ὅταν δὲ εὐθεῖα ἐπ' εὐθεῖαν σταθεῖσα τὰς ἐφεξῆς γωνίας ἴσας ἀλλήλαις ποιῇ, ὀρθὴ ἑκάτερα τῶν ἴσων γωνιῶν ἐστί, καὶ ἡ ἐφεστηκυῖα εὐθεῖα κάθετος καλεῖται, ἐφ' ἣν ἐφέστηκεν.
<11> Ἀμβλεία γωνία ἐστίν ἡ μείζων ὀρθῆς. <12> Ὁξεῖα δὲ ἡ ἐλάσσων ὀρθῆς.
<13> **Ὅρος** ἐστίν, ὃ τινός ἐστι πέρας.
<14> Σχῆμα ἐστὶ τὸ ὑπὸ τίνος ἢ τινῶν ὄρων περιεχόμενον.
<15> Κύκλος ἐστὶ σχῆμα ἐπίπεδον ὑπὸ μιᾶς γραμμῆς περιεχόμενον [ἡ καλεῖται περιφέρεια], πρὸς ἣν ἀφ' ἐνὸς σημείου τῶν ἐντὸς τοῦ σχήματος κειμένων πάσαι αἱ προσπίπτουσιν εὐθεῖαι [πρὸς τὴν τοῦ κύκλου περιφέρειαν] ἴσαι ἀλλήλαις εἰσίν. <16> Κέντρον δὲ τοῦ κύκλου τὸ σημεῖον καλεῖται. <17> Διάμετρος δὲ τοῦ κύκλου ἐστίν εὐθεῖα τις διὰ τοῦ κέντρου ἡγμένη καὶ περατουμένη ἐφ' ἑκάτερα τὰ μέρη ὑπὸ τῆς τοῦ κύκλου περιφέρειας, ἥτις καὶ δίχα τέμνει τὸν κύκλον. <18> Ἡμικύκλιον δὲ ἐστὶ τὸ περιεχόμενον σχῆμα ὑπὸ τῆς διαμέτρου καὶ τῆς ἀπολαμβανομένης ὑπ' αὐτῆς περιφέρειας. κέντρον δὲ τοῦ ἡμικυκλίου τὸ αὐτό, ὃ καὶ τοῦ κύκλου ἐστίν.

PRIMO

TERMINI

<1> **Punto** è ciò di cui non <è> alcuna parte. <2> E linea lunghezza senza larghezza. <3> E limiti di una linea <sono> punti.
<4> **Linea retta** è quella che è posta ad uguale <livello> rispetto ai punti su se stessa. <5> E superficie è ciò che ha soltanto lunghezza e larghezza. <6> E limiti di una superficie <sono> linee.
<7> Superficie piana è quella che è posta allo stesso livello rispetto alle rette su se stessa. <8> Ed angolo piano è, toccandosi tra loro due linee in un piano e non essendo poste in <linea> retta, l'inclinazione delle linee l'una rispetto all'altra. <9> E quando le linee che comprendono l'angolo siano rette, l'angolo è chiamato rettilineo. <10> E quando una retta che sta su una retta faccia gli angoli consecutivi uguali tra loro, uno e l'altro degli angoli uguali è retto, e la retta che sta su è chiamata perpendicolare a quella su cui sta.
<11> Angolo ottuso è quello maggiore di un retto. <12> Ed acuto quello minore di un retto.
<13> **Termine** è ciò che è limite di qualcosa.
<14> Figura è ciò che è compreso da uno o più termini.
<15> Cerchio è una figura piana compresa da una sola linea [che è chiamata circonferenza], tutte le rette che incidono sulla quale, <condotte> [alla circonferenza del cerchio] da un solo punto tra quelli che sono posti all'interno della figura, sono uguali tra loro. <16> Ed il punto è chiamato centro del cerchio. <17> E diametro del cerchio è una certa retta condotta per il centro e delimitata da una e dall'altra parte dalla circonferenza del cerchio, la quale seca anche il cerchio a metà. <18> E semicerchio è la figura compresa sia dal diametro che dall'arco staccato da esso. E centro del semicerchio lo stesso che è anche <centro> del cerchio.

Un esempio parallelo: Elementi

AITEMATA= POSTULATI

να, τρίπλευρα μὲν τὰ ὑπὸ τριῶν, τετράπλευρα δὲ τὰ ὑπὸ τεσσάρων, πολὺπλευρα δὲ τὰ ὑπὸ πλείονων ἢ τεσσάρων εὐθειῶν περιεχόμενα. <20> Τῶν δὲ τριπλευρῶν σχημάτων ἰσοπλευρῶν μὲν τρίγωνόν ἐστι τὸ τὰς τρεῖς ἴσας ἔχον πλευράς, ἰσοσκελὲς δὲ τὸ τὰς δύο μόνας ἴσας ἔχον πλευράς, σκαληνὸν δὲ τὸ τὰς τρεῖς ἀνίσους ἔχον πλευράς. <21> Ἐτι δὲ τῶν τριπλευρῶν σχημάτων ὀρθογώνιον μὲν τρίγωνόν ἐστι τὸ ἔχον ὀρθήν γωνίαν, ἀμβλυγώνιον δὲ τὸ ἔχον ἀμβλείαν γωνίαν, ὀξυγώνιον δὲ τὸ τὰς τρεῖς ὀξείας ἔχον γωνίας. <22> Τῶν δὲ τετραπλευρῶν σχημάτων τετράγωνον μὲν ἐστίν, ὃ ἰσόπλευρόν τε ἐστὶ καὶ ὀρθογώνιον, ἑτερόμηκες δέ, ὃ ὀρθογώνιον μὲν, οὐκ ἰσόπλευρον δέ, ῥόμβος δέ, ὃ ἰσόπλευρον μὲν, οὐκ ὀρθογώνιον δέ, ῥομβοειδὲς δὲ τὸ τὰς ἀπεναντίων πλευρὰς τε καὶ γωνίας ἴσας ἀλλήλαις ἔχον, ὃ οὔτε ἰσόπλευρόν ἐστιν οὔτε ὀρθογώνιον· τὰ δὲ παρὰ ταῦτα τετράπλευρα τραπέζια καλεῖσθω.

<23> Παράλληλοι εἰσιν εὐθεῖαι, αἵτινες ἐν τῷ αὐτῷ ἐπιπέδῳ οὔσαι καὶ ἐκβαλλόμεναι εἰς ἄπειρον ἐφ' ἑκάτερα τὰ μέρη ἐπὶ μηδέτερα συμπίπτουσιν ἀλλήλαις.

ΑΙΤΗΜΑΤΑ

<1> Ἡιτήσθω ἀπὸ παντὸς σημείου ἐπὶ πᾶν σημεῖον εὐθεῖαν γραμμὴν ἀγαγεῖν.

<2> Καὶ πεπερασμένην εὐθεῖαν κατὰ τὸ συνεχὲς ἐπ' εὐθείας ἐκβαλεῖν.

<3> Καὶ παντὶ κέντρῳ καὶ διαστήματι κύκλον γράφεσθαι.

<4> Καὶ πάσας τὰς ὀρθὰς γωνίας ἴσας ἀλλήλαις εἶναι.

<5> Καὶ ἐὰν εἰς δύο εὐθείας εὐθεῖα ἐμπίπτουσα τὰς ἐντὸς καὶ ἐπὶ τὰ αὐτὰ μέρη γωνίας δύο ὀρθῶν ἐλάσσονας ποιῇ, ἐκβαλλομένης τὰς δύο εὐθείας ἐπ' ἄπειρον συμπίπτειν, ἐφ' ἃ μέρη εἰσὶν αἱ τῶν δύο ὀρθῶν ἐλάσσονες.

ΚΟΙΝΑΙ ΕΝΝΟΙΑΙ

<1> Τὰ τῷ αὐτῷ ἴσα καὶ ἀλλήλοις ἐστὶν ἴσα.

<2> Καὶ ἐὰν ἴσοις ἴσα προστεθῇ, τὰ ὅλα ἐστὶν ἴσα.

<19> Figure rettilinee sono quelle comprese da rette, trilatere quelle da tre, quadrilatere quelle da quattro, polilatere quelle comprese da più di quattro rette. <20> E delle figure trilatere triangolo equilatero è quello che ha i tre lati uguali, isoscele quello che ha due soli lati uguali, scaleno quello che ha i tre lati disuguali. <21> E ancora, delle figure trilateri triangolo rettangolo è quello che ha un angolo retto, ottusangolo quello che ha un angolo ottuso, acutangolo quello che ha i tre angoli acuti. <22> E delle figure quadrilatere quadrato è quello che è sia equilatero che rettangolo, eteromece quello che è rettangolo ma non equilatero, rombo quello che è equilatero ma non rettangolo, romboide quello che ha sia i lati che gli angoli opposti uguali tra loro, e che non è né equilatero né rettangolo; e i quadrilateri a parte questi siano chiamati trapezi. <23> Parallele sono rette che, essendo nello stesso piano e prolungate illimitatamente da una e dall'altra parte, né da una né dall'altra si incontrano tra loro.

RICHIESTE

<1> Sia stato richiesto di condurre una linea retta da ogni punto a ogni punto.

<2> E di prolungare senza soluzione di continuità una retta limitata in <linea> retta.

<3> E che con ogni centro e intervallo sia tracciato un cerchio.

<4> E che tutti gli angoli retti siano uguali tra loro.

<5> E che, qualora una retta che incide su due rette faccia minori di due retti gli angoli all'interno e dalla stessa parte, le due rette prolungate illimitatamente incidano dalla parte in cui sono gli <angoli> minori dei due retti.

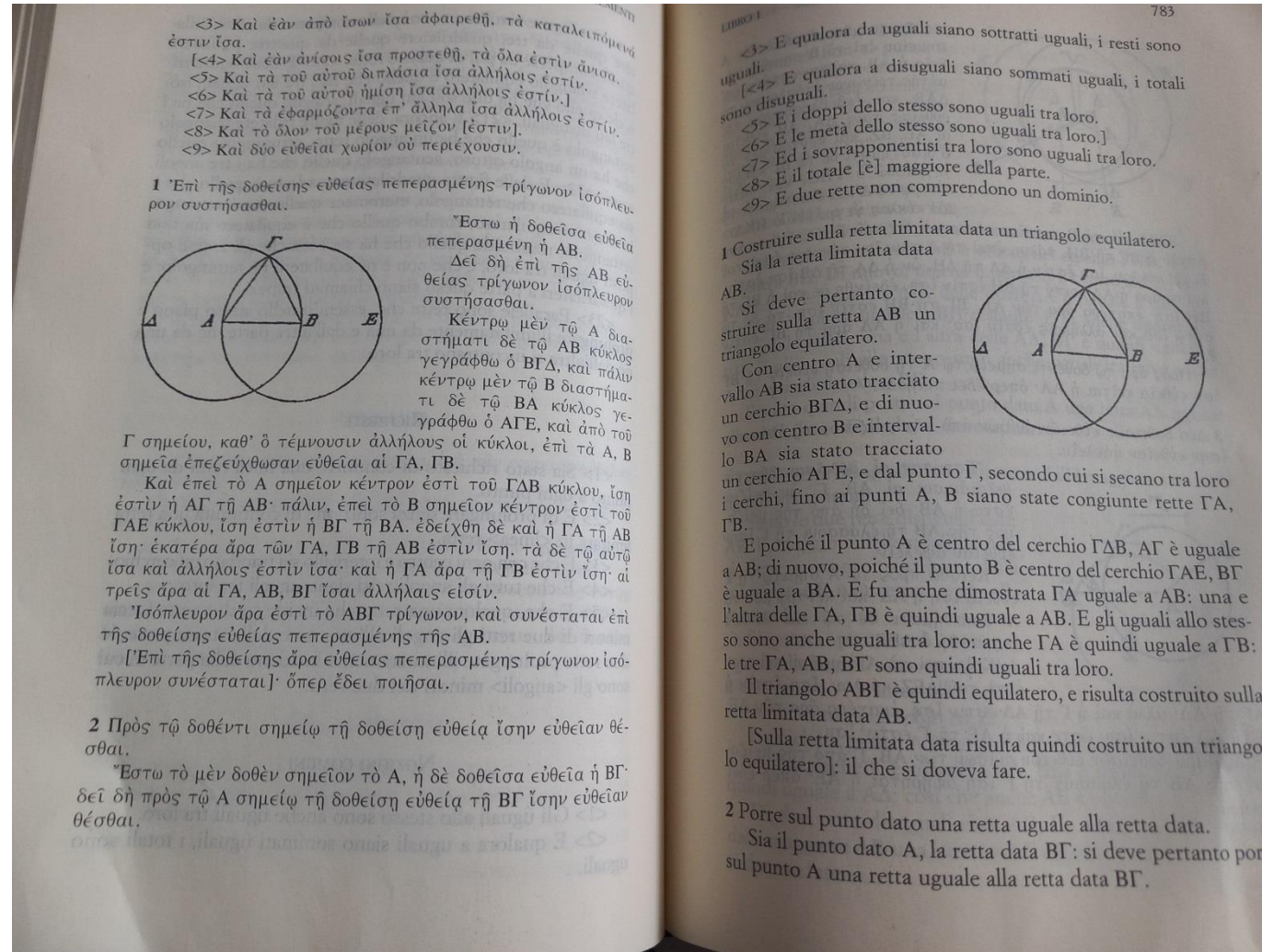
NOZIONI COMUNI

<1> Gli uguali allo stesso sono anche uguali tra loro.

<2> E qualora a uguali siano sommati uguali, i totali sono uguali.

Un esempio parallelo: Elementi

I problemi (gli attuali esperimenti) vengono indicati con un elenco ma si capisce che son problemi dalla frase finale «come si doveva fare»



Un esempio parallelo: Elementi

I teoremi (le attuali «previsioni»?) vengono indicati con un elenco ma si capisce che son problemi dalla frase finale «come si doveva dimostrare»

790

EUCLIDE - ELEMENTI

6 Ἐὰν τριγώνου αἱ δύο γωνίαι ἴσαι ἀλλήλαις ὦσιν, καὶ αἱ ὑπὸ τὰς ἴσας γωνίας ὑποτείνουσαι πλευραὶ ἴσαι ἀλλήλαις ἔσονται.

Ἐστω τρίγωνον τὸ $AB\Gamma$ ἴσην ἔχον τὴν ὑπὸ $AB\Gamma$ γωνίαν τῇ ὑπὸ AGB γωνίᾳ· λέγω, ὅτι καὶ πλευρὰ ἡ AB πλευρᾷ τῇ AG ἐστὶν ἴση.

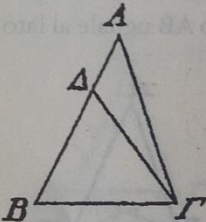
Εἰ γὰρ ἄνισός ἐστὶν ἡ AB τῇ AG , ἡ ἑτέρα αὐτῶν μείζων ἐστίν. ἔστω μείζων ἡ AB , καὶ ἀφηρήσθω ἀπὸ τῆς μείζονος τῆς AB τῇ ἐλάττωι τῇ AG ἴση ἡ ΔB , καὶ ἐπέζεύχθω ἡ $\Delta\Gamma$.

Ἐπεὶ οὖν ἴση ἐστὶν ἡ ΔB τῇ AG κοινῇ δὲ ἡ $B\Gamma$, δύο δὲ αἱ ΔB , $B\Gamma$ δύο ταῖς AG , ΓB ἴσαι εἰσὶν ἑκατέρα ἑκατέρα, καὶ γωνία ἡ ὑπὸ $\Delta B\Gamma$ γωνία τῇ ὑπὸ AGB ἐστὶν ἴση· βάσις ἄρα ἡ $\Delta\Gamma$ βάσει τῇ AB ἴση ἐστίν, καὶ τὸ $\Delta B\Gamma$ τρίγωνον τῷ AGB τριγώνῳ ἴσον ἔσται, τὸ ἔλασσον τῷ μείζονι· ὅπερ ἄτοπον· οὐκ ἄρα ἄνισός ἐστὶν ἡ AB τῇ AG · ἴση ἄρα.

Ἐὰν ἄρα τριγώνου αἱ δύο γωνίαι ἴσαι ἀλλήλαις ὦσιν, καὶ αἱ ὑπὸ τὰς ἴσας γωνίας ὑποτείνουσαι πλευραὶ ἴσαι ἀλλήλαις ἔσονται· ὅπερ ἔδει δεῖξαι.

7 Ἐπὶ τῆς αὐτῆς εὐθείας δύο ταῖς αὐταῖς εὐθείαις ἄλλαι δύο εὐθεῖαι ἴσαι ἑκατέρα ἑκατέρα οὐ συσταθήσονται πρὸς ἄλλω καὶ ἄλλω σημείῳ ἐπὶ τὰ αὐτὰ μέρη τὰ αὐτὰ πέρατα ἔχουσαι ταῖς ἐξ ἀρχῆς εὐθείαις.

Εἰ γὰρ δυνατόν, ἐπὶ τῆς αὐτῆς εὐθείας τῆς AB δύο ταῖς αὐταῖς εὐθείαις ταῖς AG , ΓB ἄλλαι δύο εὐθεῖαι αἱ $A\Delta$, ΔB ἴσαι ἑκατέρα ἑκατέρα συνεστάτωσαν πρὸς ἄλλω καὶ ἄλλω σημείῳ τῷ τε Γ καὶ Δ ἐπὶ τὰ αὐτὰ μέρη τὰ αὐτὰ πέρατα ἔχουσαι, ὥστε ἴσην εἶναι τὴν μὲν ΓA τῇ ΔA τὸ αὐτὸ πέρατος ἔχουσαν αὐτῇ τὸ A , τὴν



LIBRO I

791

6 Qualora due angoli di un triangolo siano uguali tra loro, anche i lati che si tendono sotto gli angoli uguali saranno uguali tra loro.

Sia un triangolo $AB\Gamma$ che ha l'angolo $AB\Gamma$ uguale all'angolo AGB : dico che anche un lato AB è uguale a un lato AG .

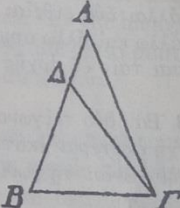
Se infatti AB è disuguale a AG , l'uno o l'altro di essi è maggiore. Sia maggiore AB , e sia stata sottratta dalla maggiore AB una <retta> ΔB uguale alla minore AG , e sia stata congiunta $\Delta\Gamma$.

Poiché dunque ΔB è uguale a AG e $B\Gamma$ comune, due <rette> ΔB , $B\Gamma$ sono pertanto rispettivamente uguali a due AG , ΓB , e un angolo $\Delta B\Gamma$ è uguale a un angolo AGB : $\Delta\Gamma$ come base è quindi uguale a AB come base, e il triangolo $\Delta B\Gamma$ sarà uguale al triangolo AGB , il minore al maggiore; il che è assurdo: non si dà quindi il caso che AB sia disuguale a AG : è quindi uguale.

Qualora quindi i due angoli di un triangolo siano uguali tra loro, anche i lati che si tendono sotto gli angoli uguali saranno uguali tra loro: il che si doveva dimostrare.

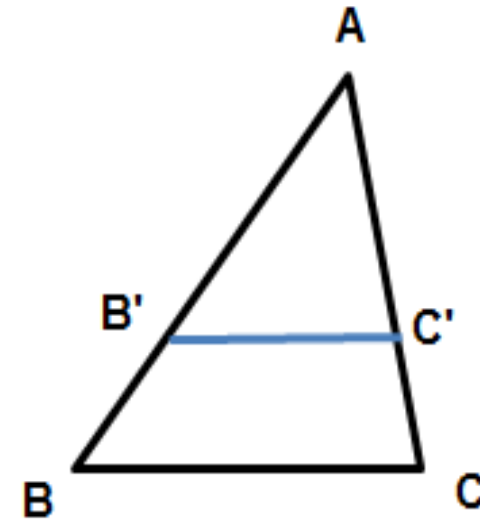
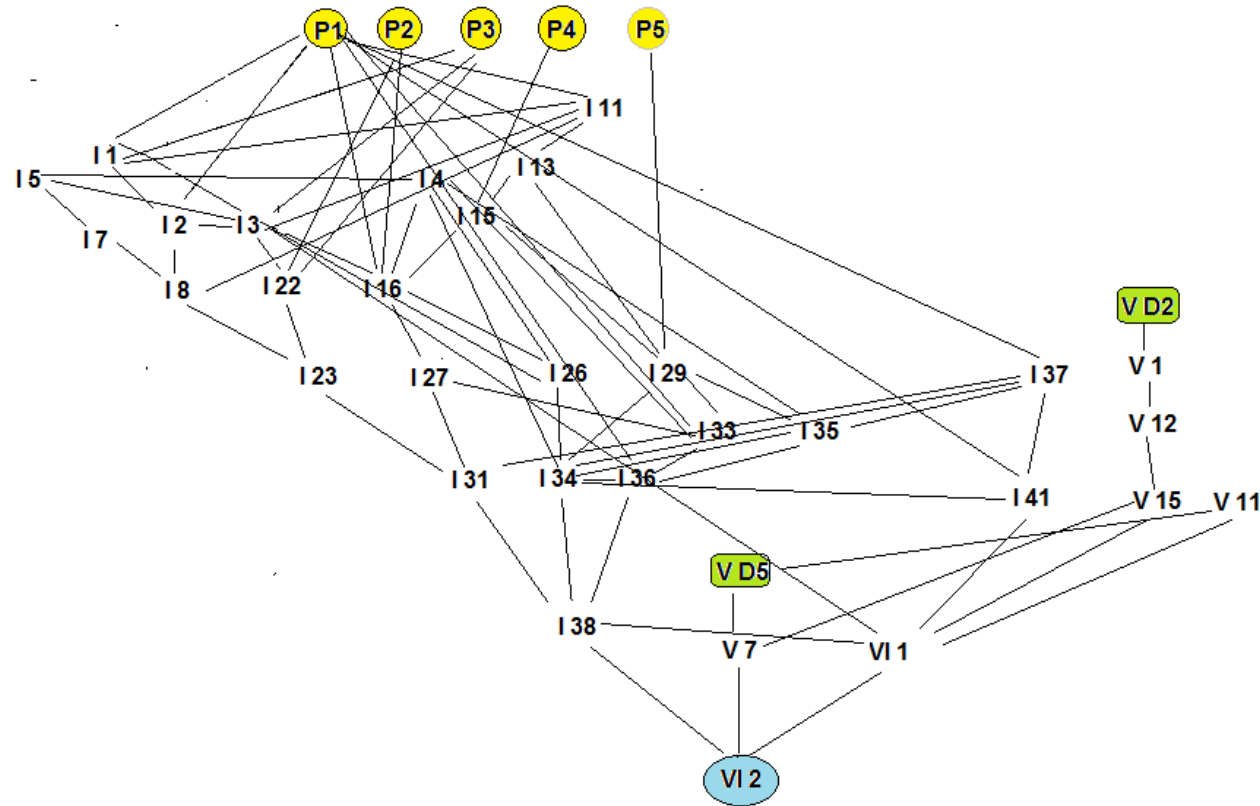
7 Sulla stessa retta altre due rette rispettivamente uguali alle stesse due rette <e> che hanno gli stessi limiti delle rette in origine non saranno costruite verso punti differenti dalla stessa parte.

Se infatti possibile, sulla stessa retta AB altre due rette $A\Delta$, ΔB rispettivamente uguali alle stesse due rette AG , ΓB <e> che hanno gli stessi limiti siano state costruite verso punti differenti, sia Γ che Δ , dalla stessa parte, così da essere ΓA



Il sistema assiomatico-deduttivo

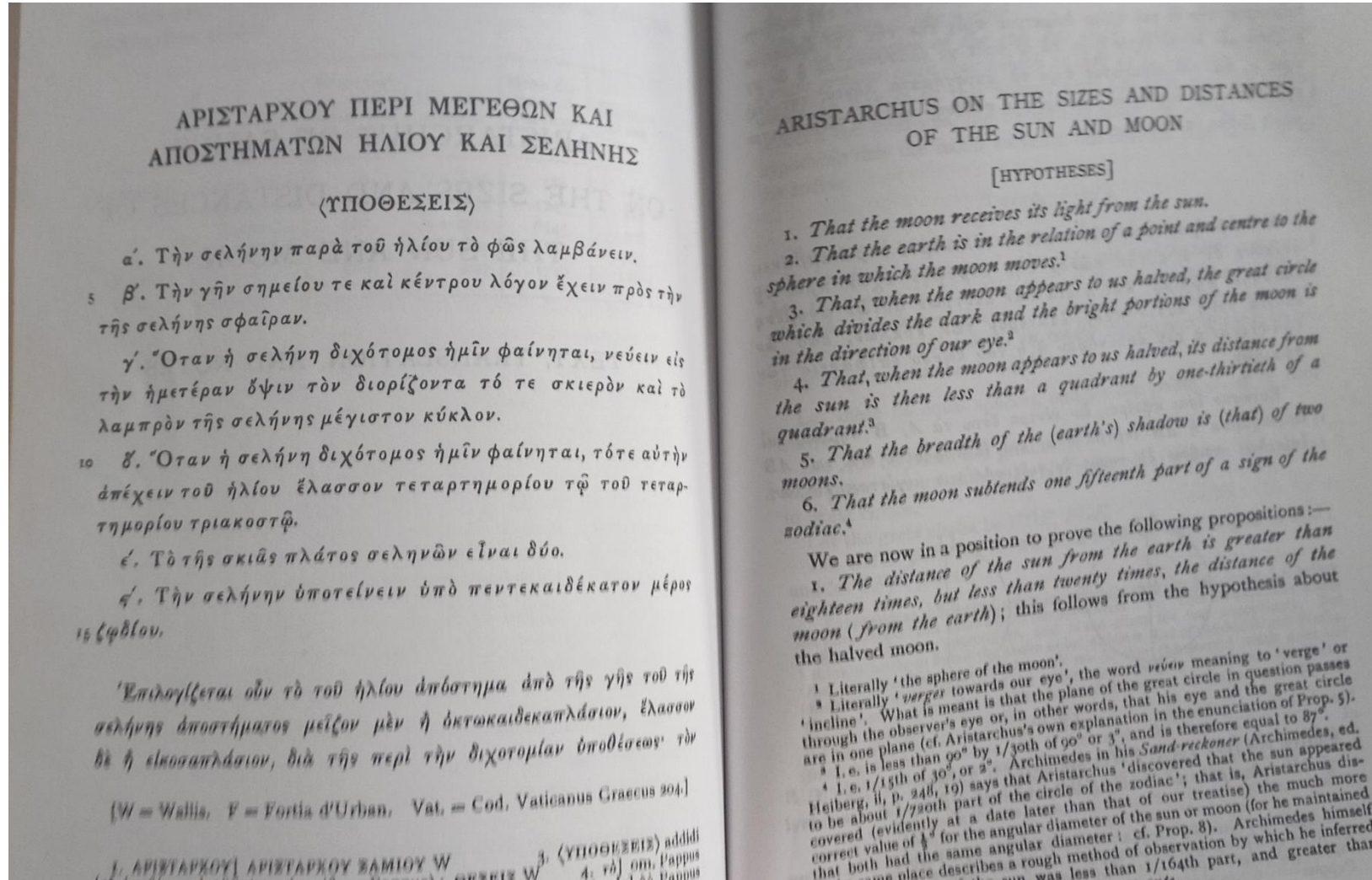
Prop. 2 VI libro. Teorema di Talete



$$AB:AB' = AC:AC'$$

Un esempio parallelo: Sulle dimensioni e distanze del sole e della luna

Per «ipotesi» si usano esperimenti o misure



Un esempio parallelo: Ull'equilibrio dei corpi galleggianti

Per «postulato» si usa una unica «ipotesi» (o meglio tre) non dimostrabili empiricamente.

I teoremi riguardano fenomeni fisici, come la sfericità della Terra! Unione tra matematica e Fisica). Questo implica come teorema la spinta di Archimede che in seguito diverrà principio quando si perderà il significato di Ipotesi con Newton

ON FLOATING BODIES.

BOOK I.

Postulate 1.

“Let it be supposed that a fluid is of such a character that, its parts lying evenly and being continuous, that part which is thrust the less is driven along by that which is thrust the more; and that each of its parts is thrust by the fluid which is above it in a perpendicular direction if the fluid be sunk in anything and compressed by anything else.”

Proposition 1.

If a surface be cut by a plane always passing through a certain point, and if the section be always a circumference [of a circle] whose centre is the aforesaid point, the surface is that of a sphere.

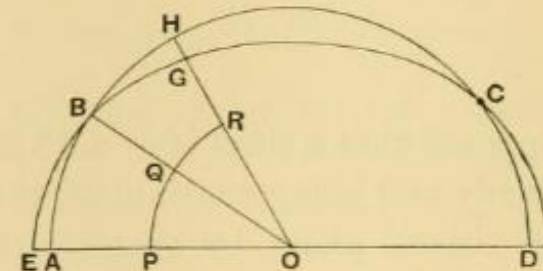
Proposition 2.

The surface of any fluid at rest is the surface of a sphere whose centre is the same as that of the earth.

Suppose the surface of the fluid cut by a plane through O , the centre of the earth, in the curve $ABCD$.

$ABCD$ shall be the circumference of a circle.

For, if not, some of the lines drawn from O to the curve will be unequal. Take one of them, OB , such that OB is greater than some of the lines from O to the curve and less than others. Draw a circle with OB as radius. Let it be EBF , which will therefore fall partly within and partly without the surface of the fluid.

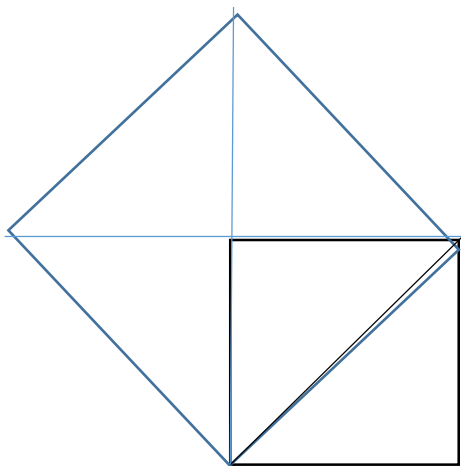


Il sistema pre-euclideo

Prima di Euclide le dimostrazioni erano

1. Puramente visive
2. Partivano da postulati non fissi

Menone: dato un quadrato costruirne uno di area doppia



Dimostrazione di Socrate (Platone)

1. Traccia una diagonale
2. La diagonale divide il quadrato in due
3. Sulla diagonale costruire un quadrato
4. Dividere il quadrato costruito in quattro triangoli uguali mediante le diagonali
5. Nel primo quadrato entrano due triangoli uguali
6. Nel secondo quadrato entrano quattro triangoli uguali ai primi due

Problemi:

- a) Non è detto che dato un segmento sia possibile costruire un quadrato su di esso (prop. I.46)
- b) Non è detto che le diagonali dividano un quadrato in quattro triangoli tutti uguali tra loro

PARTE II

Raggi visuali

Periodo arcaico e classico

Alcmeone: teoria estromissiva

Democrito: teoria intromissiva

Platone: teoria mista nel Timeo ma non matematizzabile in Repubblica «Platone, che, nel trattato La Repubblica, affermava che alle apparenze degli oggetti visti, che mutano con la distanza, **non si può dare alcun valore di verità**, in quanto ingannevoli, e concludeva asserendo che tali apparenze non possono essere pertanto oggetto di scienza.

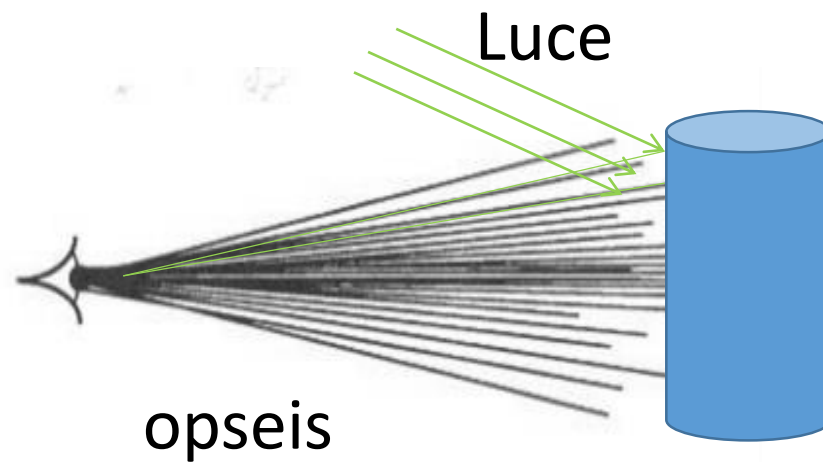
Aristotele: la luce rende i mezzi trasparenti da potenza in atto e l'aria trasmette così la sensazione

Periodo ellenistico

Stoici

Gli occhi emanano raggi «pneumatici», un flusso o corrente che emana dall'occhio nell'aria circostante (teoria estromissiva).

Una volta venuta a contatto con il pneuma oculare l'aria, se illuminata, si trasforma in una estensione percipiente dell'occhio creando un legame «simpatetico» (interazione per risonanza) tra l'occhio e tutti gli oggetti che si trovano nel suo campo visivo.



L'Ottica

Il postulato 1 introduce il termine
ευθειθας γραμμας

ΟΡΟΙ

<1> Ὑποκείσθω τὰς ἀπὸ τοῦ ὀφθαλμοῦ ἐξαγομέναις **ευθείαις γραμμαῖς** φέρεσθαι διάστημα μεγεθὺς μεγάλων.

<2> καὶ τὸ [μέν] ὑπὸ τῶν **ὀψέων** περιεχόμενον σχῆμα εἶναι κῶνον τὴν κορυφὴν μὲν ἔχοντα ἐν τῷ ὀφθαλμῷ τὴν δὲ βάσιν πρὸς τοῖς πέρασι τῶν ὁρωμένων.

<3> καὶ ὁρᾶσθαι μὲν ταῦτα, πρὸς ᾧ ἂν αἱ ὀψεις προσπίπτωσι, μὴ ὁρᾶσθαι δέ, πρὸς ᾧ ἂν μὴ προσπίπτωσιν αἱ **ὀψεις**.

<4> καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μείζονος γωνίας ὁρώμενα μείζονα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἐλάττονος ἐλάττονα, ἴσα δὲ τὰ ὑπὸ ἴσων γωνιῶν ὁρώμενα.

<5> καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μετεωροτέρων **ἀκτίνων** ὁρώμενα μετεωρότερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ταπεινοτέρων ταπεινότερα.

<6> καὶ ὁμοίως τὰ μὲν ὑπὸ δεξιωτέρων **ἀκτίνων** ὁρώμενα δεξιώτερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἀριστερωτέρων ἀριστερώτερα.

<7> τὰ δὲ ὑπὸ πλειόνων γωνιῶν ὁρώμενα ἀκριβέστερον φαίνεσθαι.

Il postulato 2 e 3 introduce il termine οψεισ

TERMINI

<1> Sia stato supposto che le **linee rette** condotte fuori dall'occhio si muovano per un intervallo di grandi grandezze.

<2> E che la figura compresa dai **raggi visivi** sia un cono che ha il vertice nell'occhio, e la base sui limiti di ciò che è visto.

<3> E che sia visto ciò su cui incidano i **raggi visivi**, e non sia visto ciò su cui non incidano i raggi visivi.

<4> E che ciò che è visto sotto un angolo maggiore appaia maggiore, quello sotto <un angolo> minore minore, e uguale ciò che è visto sotto angoli uguali.

<5> E che ciò che è visto da **raggi** più alti appaia più alto, quello da <raggi> più bassi più basso.

<6> E che similmente ciò che è visto da **raggi** più a destra appaia più a destra, quello da <raggi> più a sinistra più a sinistra.

<7> E che ciò che è visto sotto più angoli appaia con maggiore precisione.

Il postulato 5 e 6 introduce il termine ακτις

I raggi visivi degli stoici vengono prima matematizzati in rette, mediante uno sfrondamento semantico del concetto. Se la cosa fa sorridere non dimentichiamo che la stessa operazione è stata fatta con il campo elettrico e magnetico nei confronti delle «linee di forza».

L'Ottica

*Euclide assume la nozione antica di **raggio visuale** e lo trasforma in un ente teorico (linea retta, il quale mantiene però un legame con la realtà concreta (raggio visuale), dando così luogo a processi di corrispondenza.*

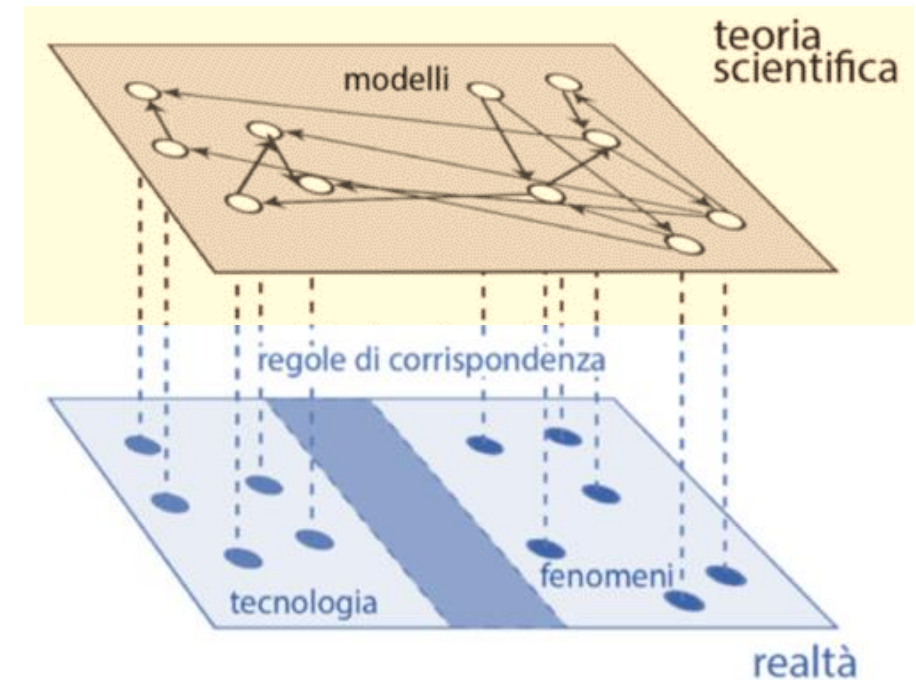
Lo stesso accadrà ai segmenti di retta negli elementi.

Teone e i posterì non lo capiranno per molto tempo, incluso il XX secolo (vedasi Ovio, Ver Eecke) a causa della loro «reificazione».

Linea retta «teorica»: non ha uno spessore e non ha un colore, per cui tutto ciò che deriverà con i teoremi a partire dai termini degli Elementi non descriveranno né spessore né colore i quali resteranno fuori dalle previsioni della teoria.



Linea retta «vera» tracciata: ha uno spessore e un colore



L'Ottica e la reificazione di Teone e Tolomeo

Versione A

ΟΡΟΙ

<1> Ὑποκείσθω τὰς ἀπὸ τοῦ ὀφθαλμοῦ ἐξαγομέναις **γραμμῶς** φέρεσθαι διάστημα μεγεθῶν μεγάλων. **εὐθείας**

<2> καὶ τὸ [μὲν] ὑπὸ τῶν ὀψεων περιεχόμενον σχῆμα εἶναι κῶνον τὴν κορυφὴν μὲν ἔχοντα ἐν τῷ ὀφθαλμῷ τὴν δὲ βάσιν πρὸς τοῖς πέρασι τῶν ὁρωμένων.

<3> καὶ ὁρᾶσθαι μὲν ταῦτα, πρὸς ἃ ἂν αἱ ὀψεις προσπίπτωσι, μὴ ὁρᾶσθαι δέ, πρὸς ἃ ἂν μὴ προσπίπτωσιν αἱ ὀψεις.

<4> καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μείζονος γωνίας ὁρώμενα μείζονα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἐλάττωτος ἐλάττωνα, ἴσα δὲ τὰ ὑπὸ ἴσων γωνιῶν ὁρώμενα.

<5> καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μετεωροτέρων ἀκτίνων ὁρώμενα μετεωρότερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ταπεινοτέρων ταπεινότερα.

<6> καὶ ὁμοίως τὰ μὲν ὑπὸ δεξιωτέρων ἀκτίνων ὁρώμενα δεξιώτερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἀριστερωτέρων ἀριστερώτερα.

<7> τὰ δὲ ὑπὸ πλειόνων γωνιῶν ὁρώμενα ἀκριβέστερον φαίνεσθαι.

TERMINI

<1> Sia stato supposto che le linee rette condotte fuori dall'occhio si muovano per un intervallo di grandi grandezze.

<2> E che la figura compresa dai raggi visivi sia un cono che ha il vertice nell'occhio, e la base sui limiti di ciò che è visto.

<3> E che sia visto ciò su cui incidano i raggi visivi, e non sia visto ciò su cui non incidano i raggi visivi.

<4> E che ciò che è visto sotto un angolo maggiore appaia maggiore, quello sotto <un angolo> minore minore, e uguale ciò che è visto sotto angoli uguali.

<5> E che ciò che è visto da raggi più alti appaia più alto, quello da <raggi> più bassi più basso.

<6> E che similmente ciò che è visto da raggi più a destra appaia più a destra, quello da <raggi> più a sinistra più a sinistra. <7> E che ciò che è visto sotto più angoli appaia con maggiore precisione.

εὐθειθα γραμμη → linea retta

Ci si aggancia alla teoria matematica definendo l'ente teorico

Ὀψις → raggio visivo

Ci si aggancia all'atto fisiologico della vista ovvero alla direzione dello sguardo (Corrispondenza)

Ἀκτις → raggio

Lo usa ogni volta che ci si riferisce a proposizioni che hanno a che fare con le direzioni apparenti dei corpi sotto movimento (cinematica) collegate ai «termini» V e VI, ad esempio nei teoremi del moto relativo, o in situazioni di produzione di ombre.

Versione B (Teone)

ΟΡΟΙ

<1> Ὑποκείσθω τὰς ἀπὸ τοῦ ὀφθαλμοῦ ἐξαγομέναις **γραμμῶς** φέρεσθαι διάστημα τι ποιούσας **ὀψεις** κατὰ **εὐθείας**

<2> καὶ τὸ μὲν ὑπὸ τῶν ὀψεων περιεχόμενον σχῆμα εἶναι κῶνον τὴν κορυφὴν μὲν ἔχοντα πρὸς τῷ ὀφθαλμῷ, τὴν δὲ βάσιν πρὸς τοῖς πέρασι τῶν ὁρωμένων.

<3> καὶ ὁρᾶσθαι μὲν ταῦτα, πρὸς ἃ ἂν αἱ ὀψεις προσπίπτωσιν, μὴ ὁρᾶσθαι δέ, πρὸς ἃ ἂν μὴ προσπίπτωσιν αἱ ὀψεις.

<4> καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μείζονος γωνίας ὁρώμενα μείζονα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἐλάσσονος ἐλάσσονα, ἴσα δὲ τὰ ὑπὸ ἴσων γωνιῶν ὁρώμενα.

<5> καὶ τὰ μὲν ὑπὸ μετεωροτέρων ἀκτίνων ὁρώμενα μετεωρότερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ταπεινοτέρων ταπεινότερα.

<6> καὶ ὁμοίως τὰ μὲν ὑπὸ δεξιωτέρων ἀκτίνων ὁρώμενα δεξιώτερα φαίνεσθαι, τὰ δὲ ὑπὸ ἀριστερωτέρων ἀριστερώτερα.

<7> τὰ δὲ ὑπὸ πλειόνων γωνιῶν ὁρώμενα ἀκριβέστερον φαίνεσθαι.

TERMINI

risultino minori quale certi angoli dei raggi visivi sull'occhio.

<1> Sia stato supposto che i raggi visivi dall'occhio si muovano secondo linee rette che fanno uno certo intervallo una dall'altra.

<2> E che la figura compresa dai raggi visivi sia un cono che ha il vertice sull'occhio, e la base sui limiti di ciò che è visto.

<3> E che sia visto quello su cui incidano i raggi visivi, e che non sia visto ciò su cui non incidano i raggi visivi.

<4> E che ciò che è visto sotto un angolo maggiore appaia maggiore, quello sotto un angolo minore minore, e uguale ciò che è visto sotto angoli uguali.

<5> E che ciò che è visto da raggi più alti appaia più alto, quello da <raggi> più bassi più basso.

<6> E che similmente ciò che è visto da raggi più a destra appaia più a destra, quello da <raggi> più a sinistra più a sinistra. <7> E che ciò che è visto sotto più angoli appaia con maggiore precisione.

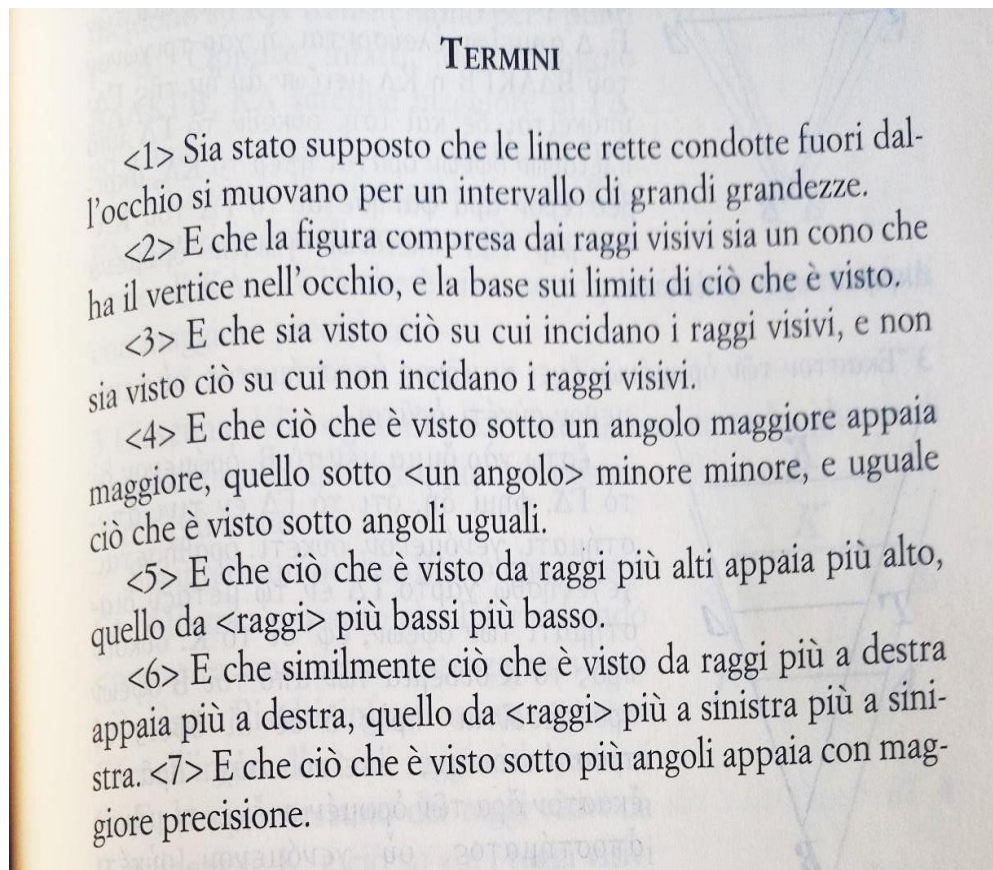
εὐθειθα γραμμη = Ὀψις

Nella versione curata da Teone (padre di Ipazia, commentatore del IV d.C.) in piena decadenza scientifica e recupero neoplatonico, le linee rette geometriche diventano raggi visivi, indicando una reificazione dell'ente teorico. I raggi visivi sono emessi dall'occhio materialmente, come nelle teorie estromissive del periodo classico

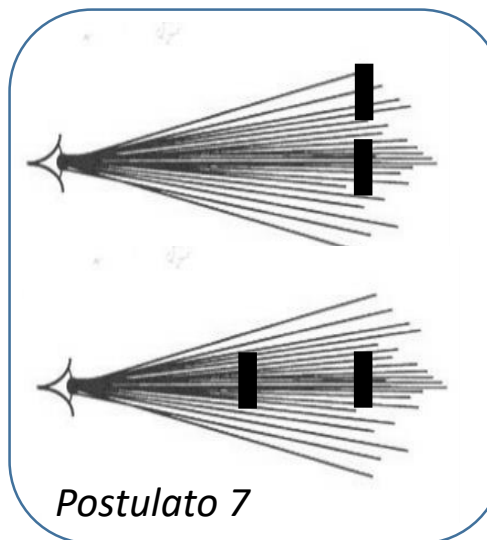
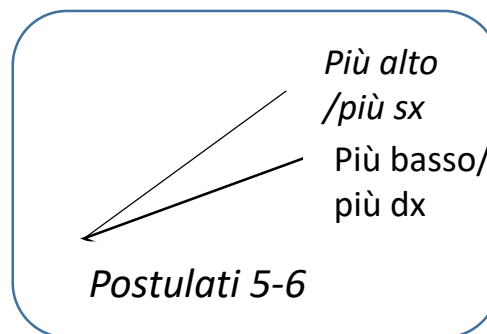
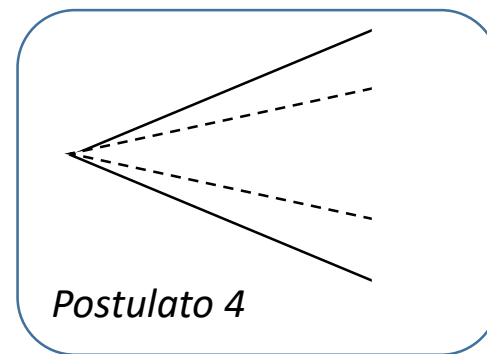
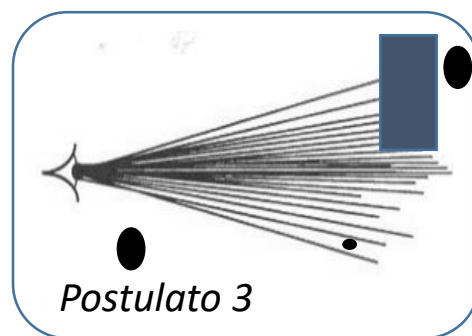
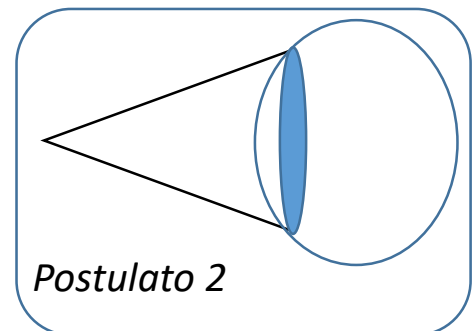
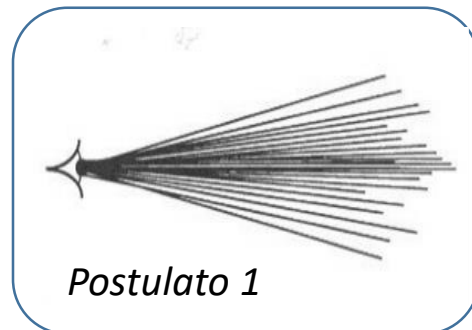
L'Ottica: i postulati

7 postulati (non direttamente verificabili)

58 Proposizioni



Tolomeo critica Euclide perché ritiene che i raggi siano discreti mentre Tolomeo li supporrà continui.



PARTE III

Teoremi

L'Ottica: i teoremi

Le proposizioni 1, 2, 3, 9 sono collegabili alla fisiologia della visione, conseguenze della prima premessa (discretizzazione dei raggi visuali), ovvero alla **risoluzione**

Le proposizioni 4-14 tranne 9 sono i **teoremi prospettici**.

Le proposizioni 15-17: si occupano della misurazione della differenza tra le lunghezze di due grandezze e di come la posizione dell'occhio possa portare a differenti errori di sovrastima o sottostima.

La proposizione 18-21: problemi di altimetria e triangolazione: il 18 è un tributo a Talete «Conoscere che valore è l'altezza data se il sole appare», il 19 fa uso di specchi in assenza di sole (e dunque ombre).

La proposizione 22: «Una circonferenza descritta sullo stesso piano dove è l'occhio appare come una linea retta». Importante in astronomia?

Le proposizioni 23-33 si occupano di **come viene vista una sfera, un cilindro, un cono** se osservata con un solo occhio o da lontano o con entrambi gli occhi in cui il diametro della sfera sia maggiore, minore o uguale alla distanza tra gli occhi.

Le proposizioni 34-49 come si presentano alla vista i **diametri di un cerchio** guardati da un punto esterno al piano su cui giace. Importanti per l'opera *Phainomena* (di astronomia)

Proposizione 50-55: riguarda i moti relativi

Proposizione 56-58: altro

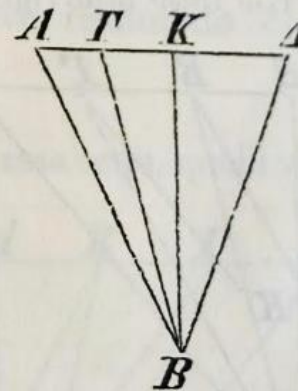
L'Ottica: i teoremi di risoluzione

*Le proposizioni 1, 2, 3, 9 sono collegabili alla fisiologia della visione, conseguenze della prima premessa (discretizzazione dei raggi visuali), ovvero alla **risoluzione***

Proposizione 1. *Niente di ciò che è visto è visto insieme come totale*

1 Niente di ciò che è visto è visto insieme come totale.

Sia infatti una certa <grandezza> vista $A\Delta$, sia un occhio B , da cui incidano raggi visivi BA , $B\Gamma$, BK , $B\Delta$. E dunque poiché i raggi visivi che incidono si muovono in intervallo, non inciderebbero contigui su $A\Delta$: così che lungo $A\Delta$ risulterebbero intervalli su cui i raggi visivi non incideranno. Non si darà quindi il caso che $A\Delta$ sia vista insieme come totale. E sembra essere vista insieme in quanto i raggi si muovono di lato velocemente.

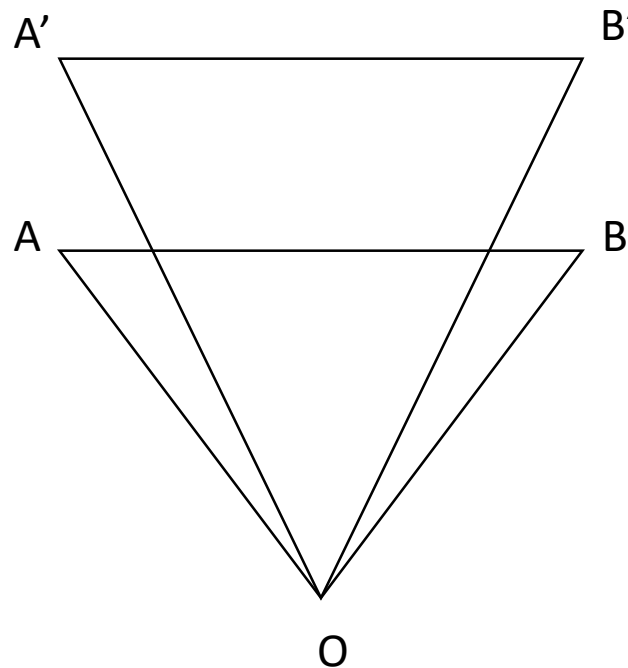


L'Ottica: i teoremi di risoluzione

Le proposizioni 1, 2, 3, 9 sono collegabili alla fisiologia della visione, conseguenze della prima premessa (discretizzazione dei raggi visuali), ovvero alla **risoluzione**

Proposizione 2. Di grandezze uguali poste in intervallo* quelle poste più vicino sono viste con maggior precisione

**differentemente distanti*



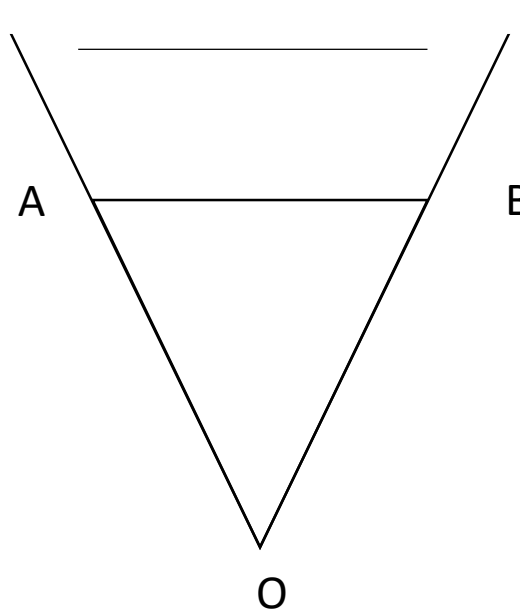
$$\overline{AB} = \overline{A'B'}$$

Sul segmento AB cadono tutti i raggi tra OA' e OB' più quelli tra OA e OA' e tra OB e OB'. Per il postulato 7 AB apparirà più risolto

L'Ottica: i teoremi di risoluzione

*Le proposizioni 1, 2, 3, 9 sono collegabili alla fisiologia della visione, conseguenze della prima premessa (discretizzazione dei raggi visuali), ovvero alla **risoluzione***

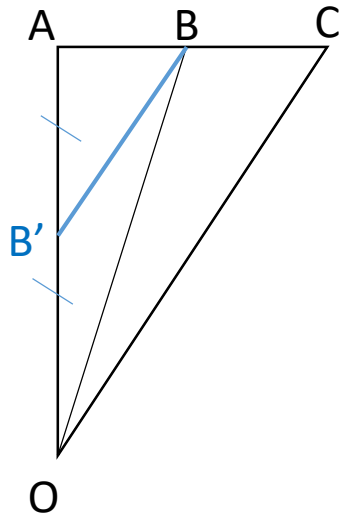
Proposizione 3. *Ciascuna delle grandezze viste ha una certa lunghezza di distanziamento, dove risultando posta non è più vista.*



Se tra i raggi OA e OB non vi sono altri raggi (i raggi sono di numero discreto) vi è un limite oltre il quale la grandezza cadrà strettamente tra essi.

L'Ottica: i teoremi sulla prospettiva

Proposizione 4. Di uguali lunghezze, considerate su una medesima retta, quelle che si vedono a una distanza maggiore appaiono minori.



Sia O Occhio e $AB=BC=CD$

Sia BB' parallelo a OC

Poiché i triangoli ABB' e ACO sono simili e B taglia in due AC ... allora $OB'=B'A$

Ma $BB' > B'A$ e dunque $BB' > OB'$ e dunque l'angolo $B'OB > B'BO$

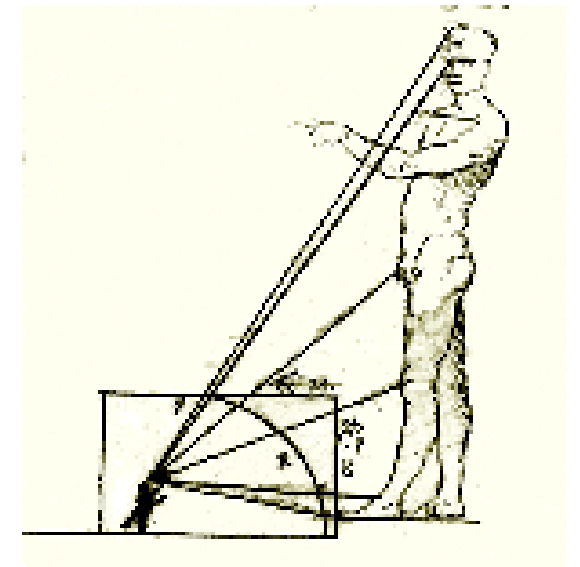
Dunque l'angolo

$AOB = B'OB$

$B'OB > B'BO$

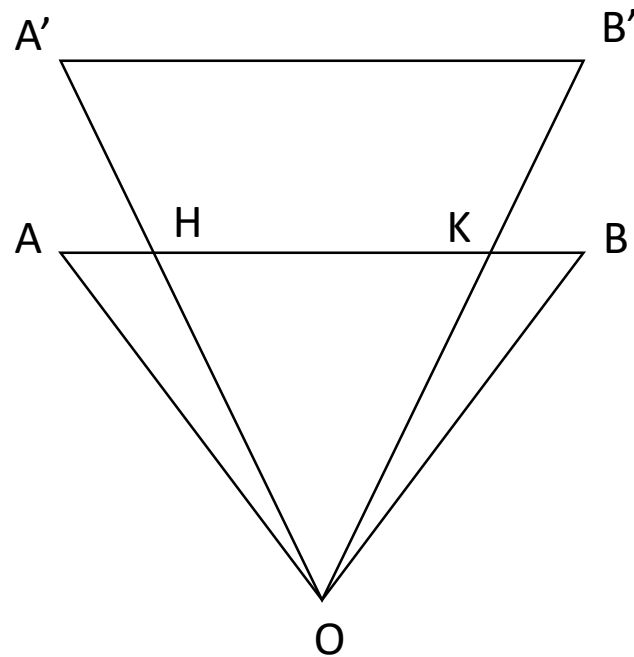
$B'BO = BOC$

Dunque l'angolo $AOB > BOC$ e per il postulato IV BC apparirà più piccolo di AB.



L'Ottica: i teoremi sulla prospettiva

Proposizione 5. Oggetti uguali, inegualmente distanti, appaiono ineguali, e sempre maggiore quello più vicino all'occhio



Per «Talete»

$$HK:A'B' = OH:OA' < 1 \rightarrow HK:AB = OH:OA'$$

Essendo AB e $A'B'$ inegualmente distanti, $OH < OA' \rightarrow OH/OA' < 1$

$$\rightarrow HK < AB.$$

Poiché

1) HK giace su AB per costruzione

2) $HK < AB$

$\rightarrow HK$ è incluso in AB

$\rightarrow$ Il triangolo OHK è incluso nel triangolo OAB .

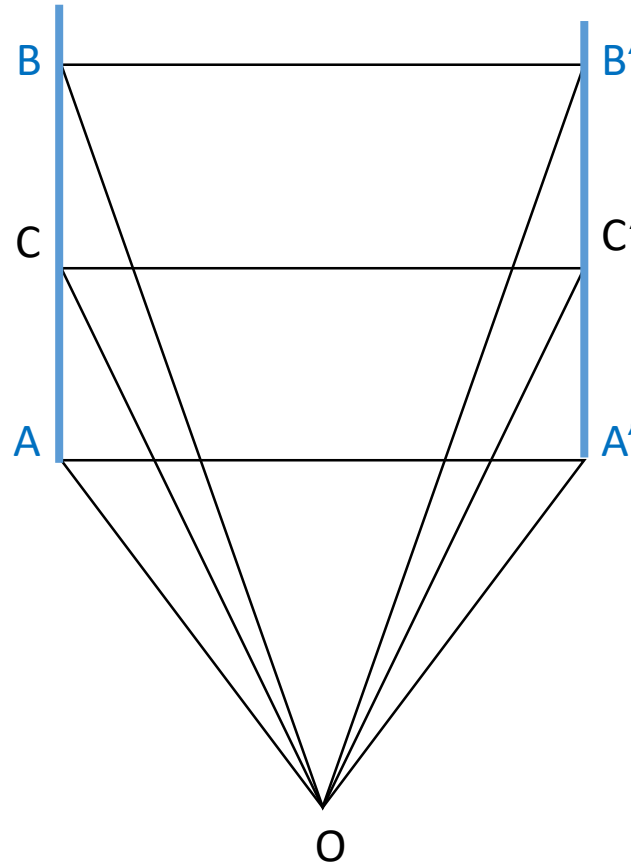
$\rightarrow$ L'angolo al vertice O che insiste su $A'B'$ sarà minore dell'angolo al vertice O che insiste su AB .

$\rightarrow AB$ sarà visto maggiore di $A'B'$

QED!

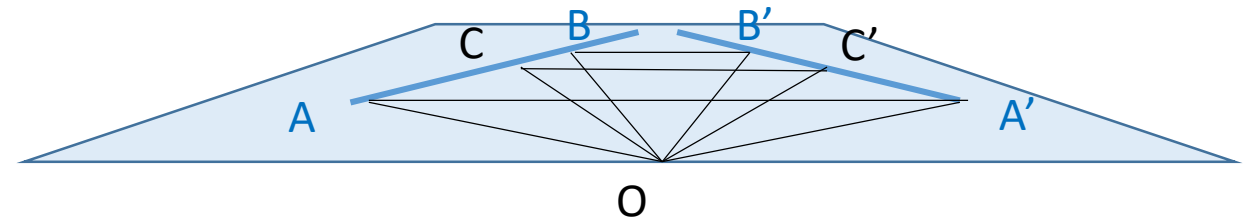
L'Ottica: i teoremi sulla prospettiva

Proposizione 6. Rette parallele viste in distanza, non appaiono parallele



L'angolo $AOA' > COC' > BOB'$

Allora per Postulato IV $AA' > CC' > BB'$ e dunque le rette appariranno convergenti



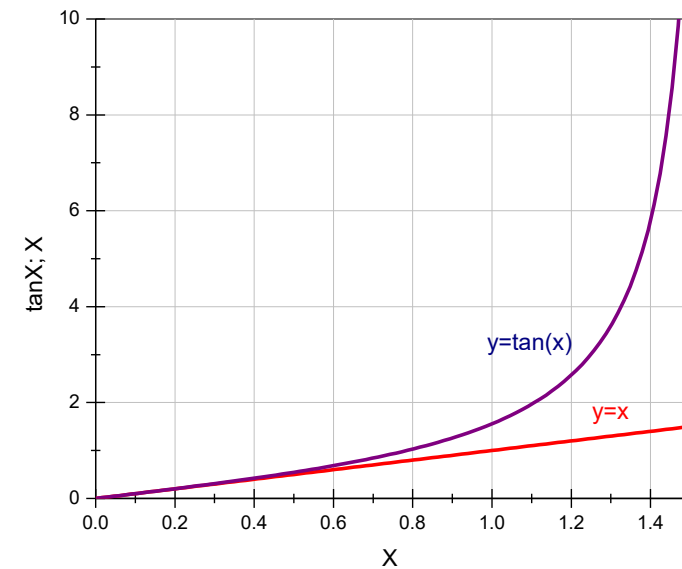
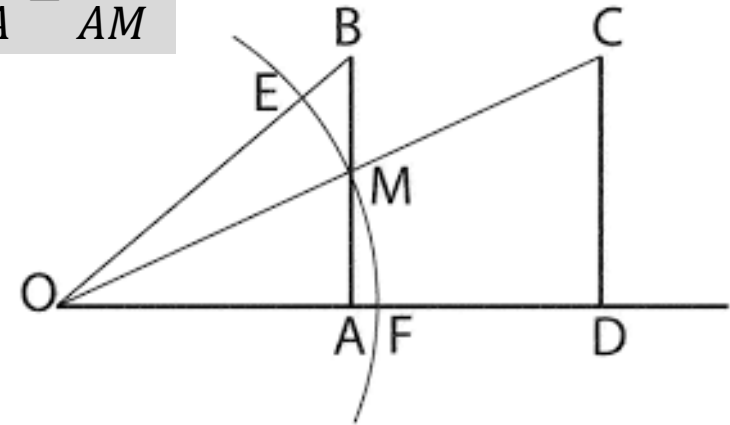
L'Ottica: i teoremi sulla prospettiva

Proposizione 8. Oggetti uguali, inegualmente distanti dall'occhio non conservano la stessa ragione cogli angoli e colle distanze

$$\frac{\widetilde{FE}}{\widetilde{FM}} < \frac{OD}{OA} = \frac{DC}{AM}$$

Se vogliamo disegnare una colonna CD che dista dall'occhio il doppio di una colonna AB di uguale altezza (AB=CD) dovremo disegnarla (supponendo che il telo passi proprio per AB semplicità di disegno) alta AM pari alla metà di CD=AB.

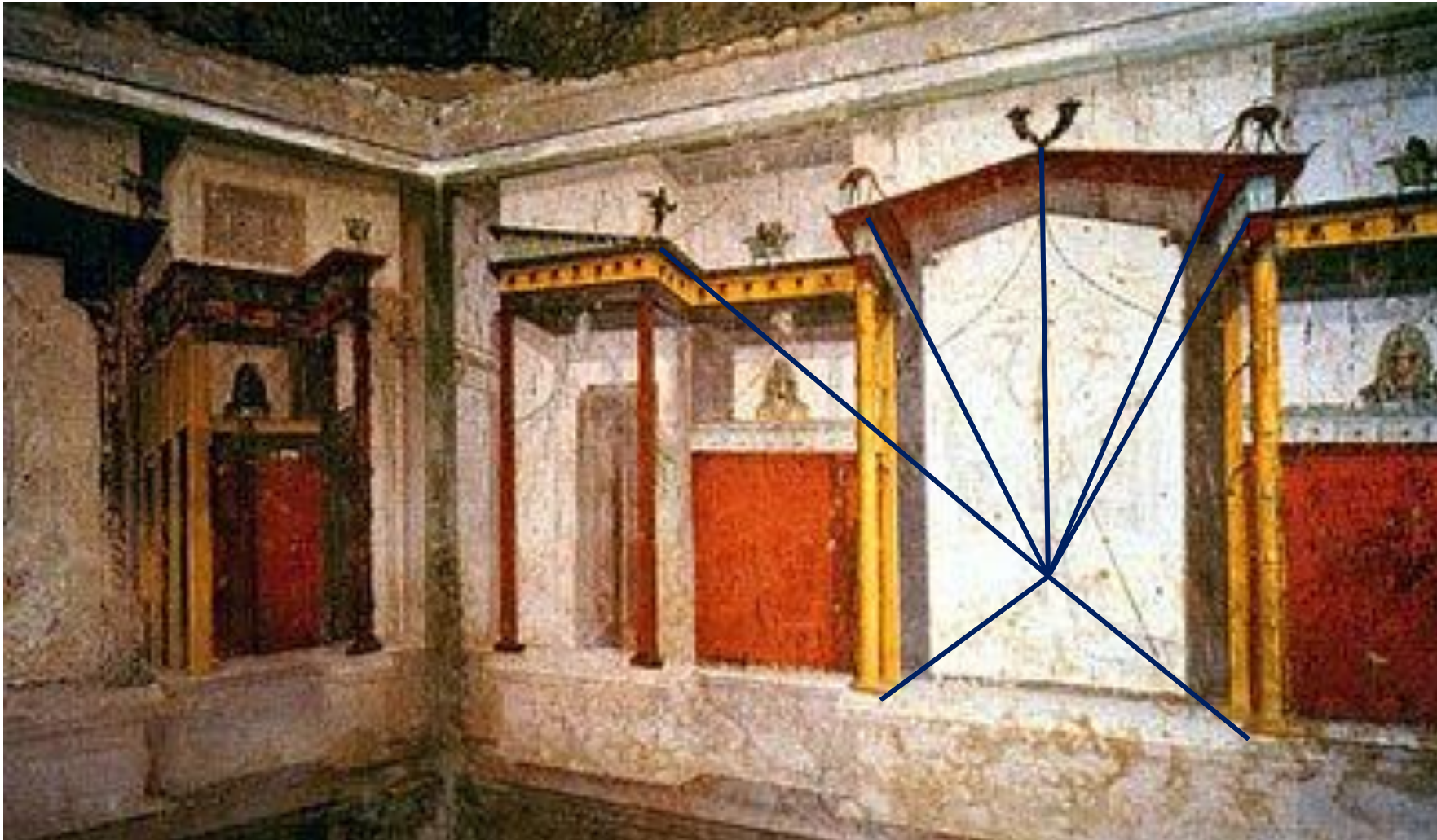
L'osservatore non vedrà CD sotto un angolo FM pari alla metà di EF (l'angolo sotto cui vede AB) ma sotto un angolo maggiore della metà di EF.



Alcune applicazioni: prospettiva centrale e a spina di pesce

Ogni cultura può avere la sua pittura, ma la prospettiva – per come è definita – è unica.

La Stanza delle Maschere sul Palatino

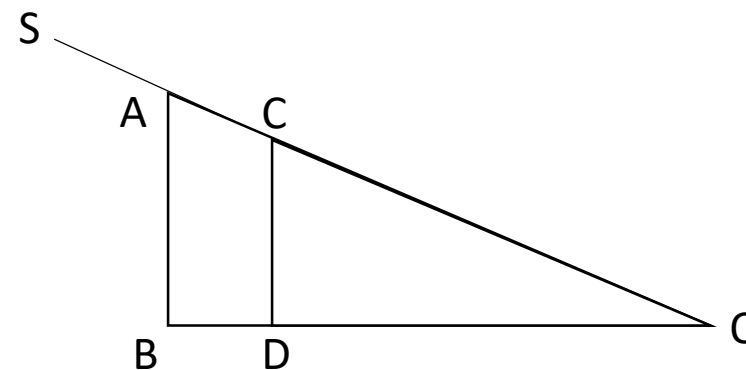


L'Ottica: i teoremi 18-21 triangolazione

La proposizione 18: è un tributo a Talete «Conoscere che valore è l'altezza data se il sole appare», il 19 fa uso di specchi in assenza di sole (e dunque ombre).

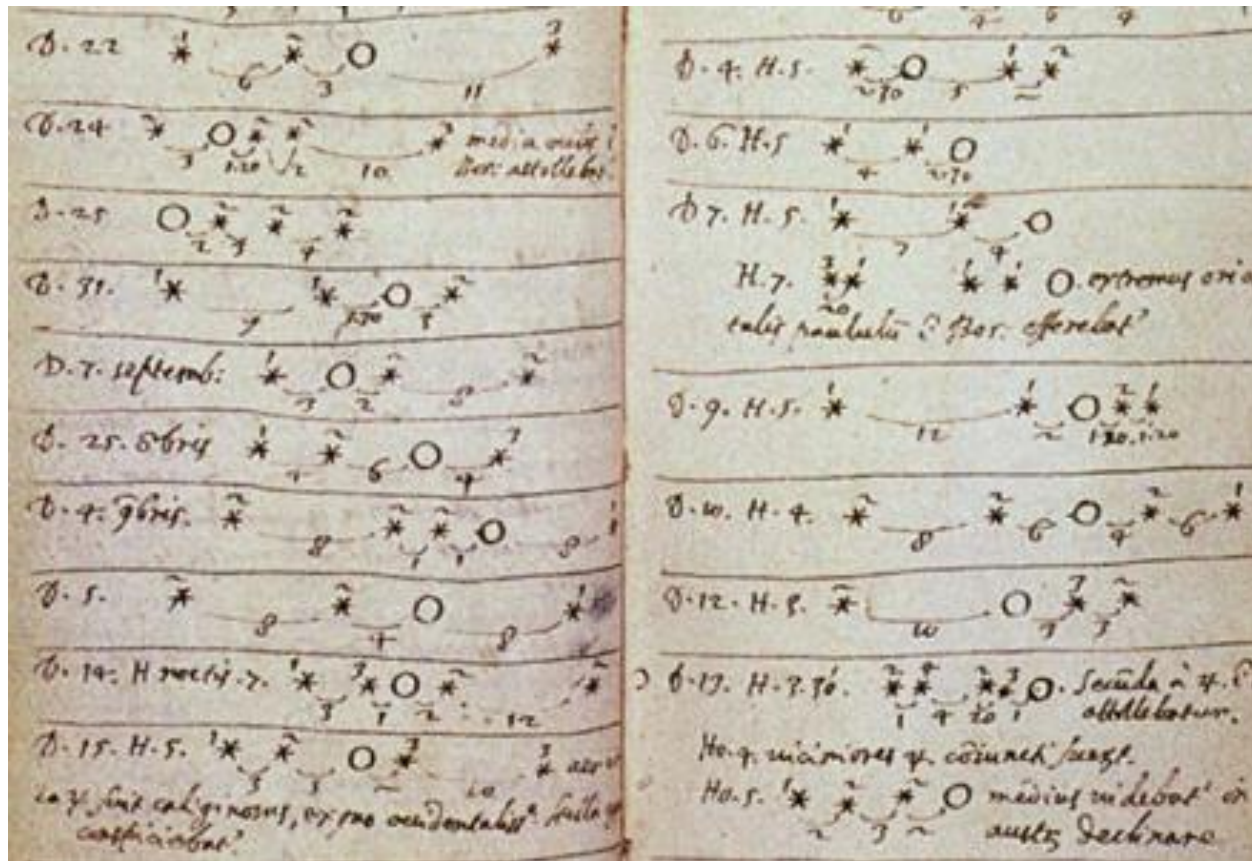
Euclide dice esplicitamente «Sia un raggio di sole SA (ηλίου δε ακτιζ η ΣΑ) che concorre (συμβαλλουσα) con il limite della grandezza AB e sia condotto oltre (διηχθω μεχρι) fino all'occhio O. Sia un'ombra OB di AB.» Non usa mai qui il termine οψεισ e non lo usa ogni volta che si tratta con ombre.

Questo implica che è consapevole che i raggi visivi non sono ciò che illumina, essendo l'oggetto luminoso illuminato da altro o sorgente di luce esso stesso. Pertanto non aderisce ad una teoria pitagorica puramente estromissiva.

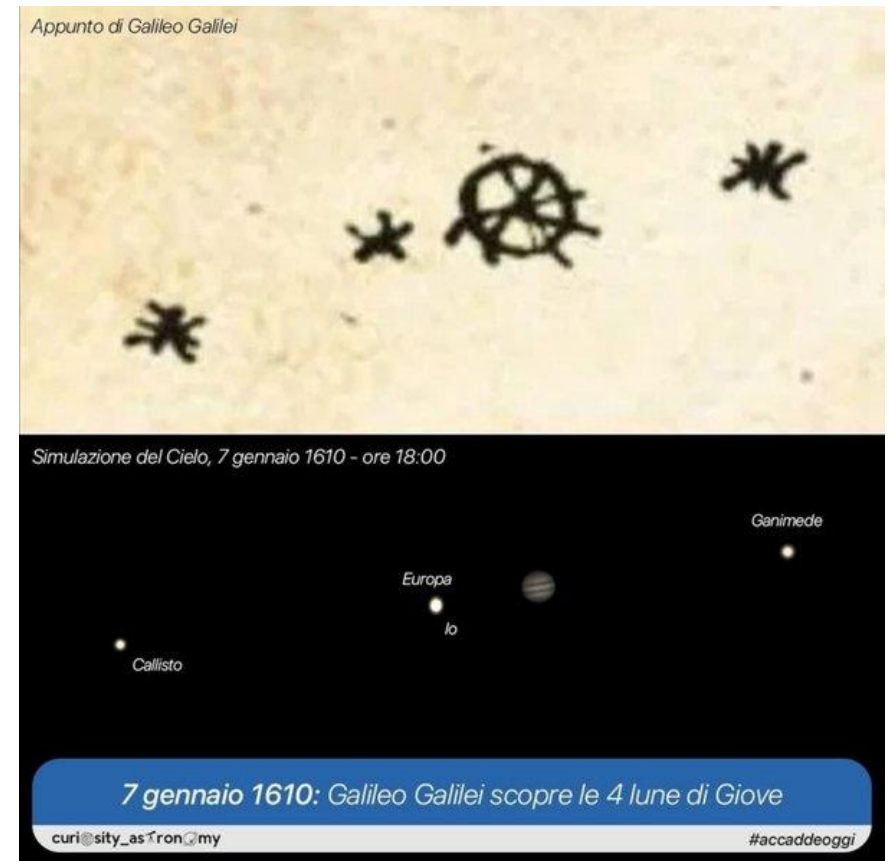


L'Ottica: i teoremi 18-21 triangolazione

La proposizione 22: «Una circonferenza descritta sullo stesso piano dove è l'occhio appare come una linea retta». Importante in astronomia? Vedasi i satelliti medicei di Galilei.



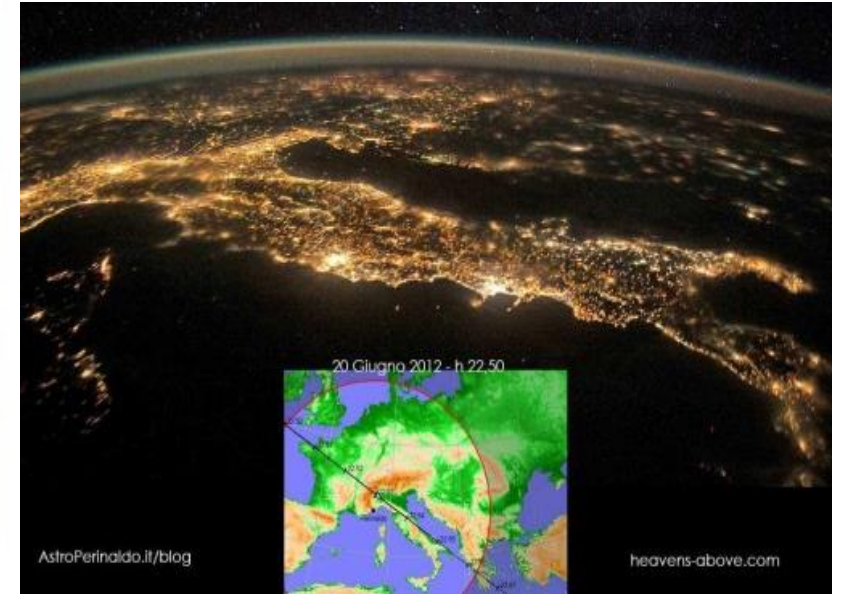
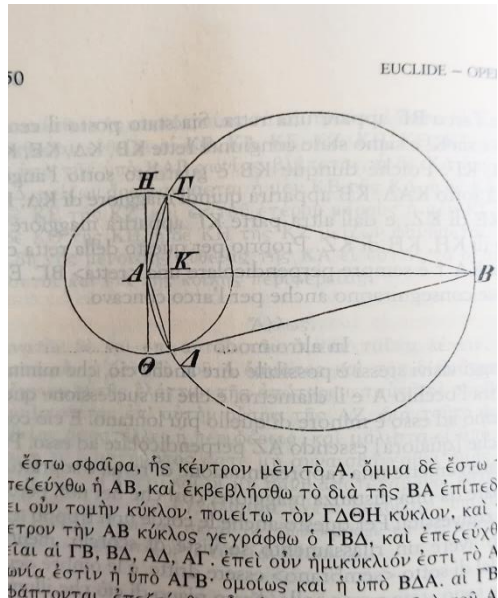
Appunti di Galilei



L'Ottica: i teoremi 23-33: come si vede una sfera ecc.

Proposizione 23: «di una sfera come mai si voglia vista da un solo occhio, appare sempre meno, e la parte stessa che è vista della sfera appare un cerchio»

Proposizione 24: «Avvicinandosi l'occhio ad una sfera ciò che è visto sarà minore, mentre sembrerà essere visto maggiore»



Ottica: Distanza dell'orizzonte

$$h = OP \quad d = HT \quad x = PH$$
$$CP = CT = r = 6370\text{km}$$

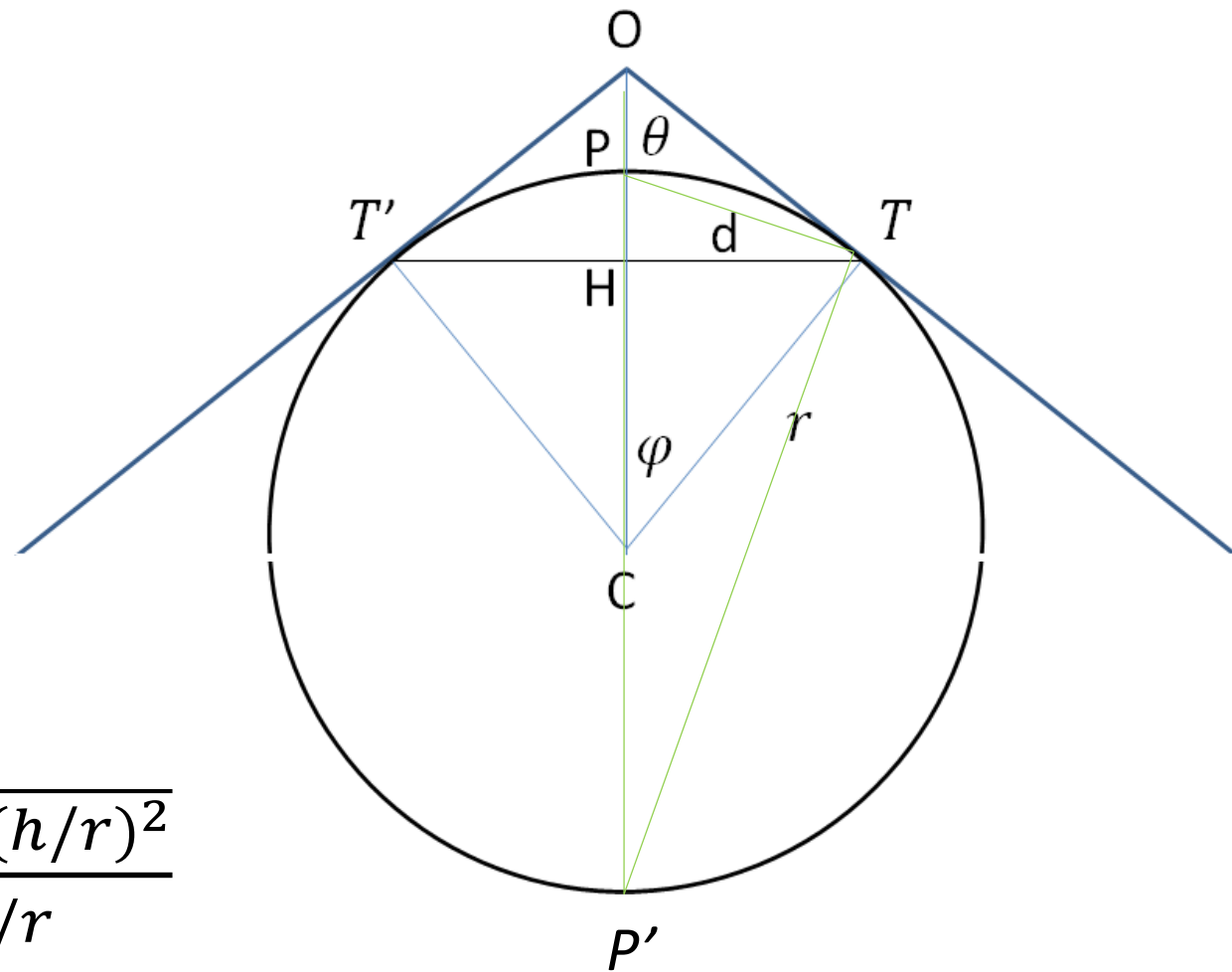
$$HT^2 = OH \times HC \rightarrow d^2 = (h + x)(r - x)$$

$$HT^2 = PH \times HP' \rightarrow d^2 = x(2r - x)$$

$$\text{Da cui } x = \frac{hr}{h+r}$$

che, sostituita nella seconda:

$$d^2 = \frac{hr}{h+r} \left(2r - \frac{hr}{h+r} \right) \rightarrow d = r \frac{\sqrt{2h/r + (h/r)^2}}{1 + h/r}$$



Ottica: Distanza dell'orizzonte

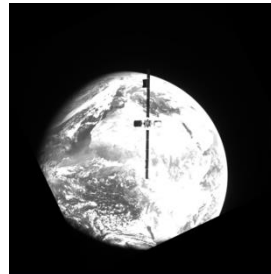
Altezza persona 1,70m



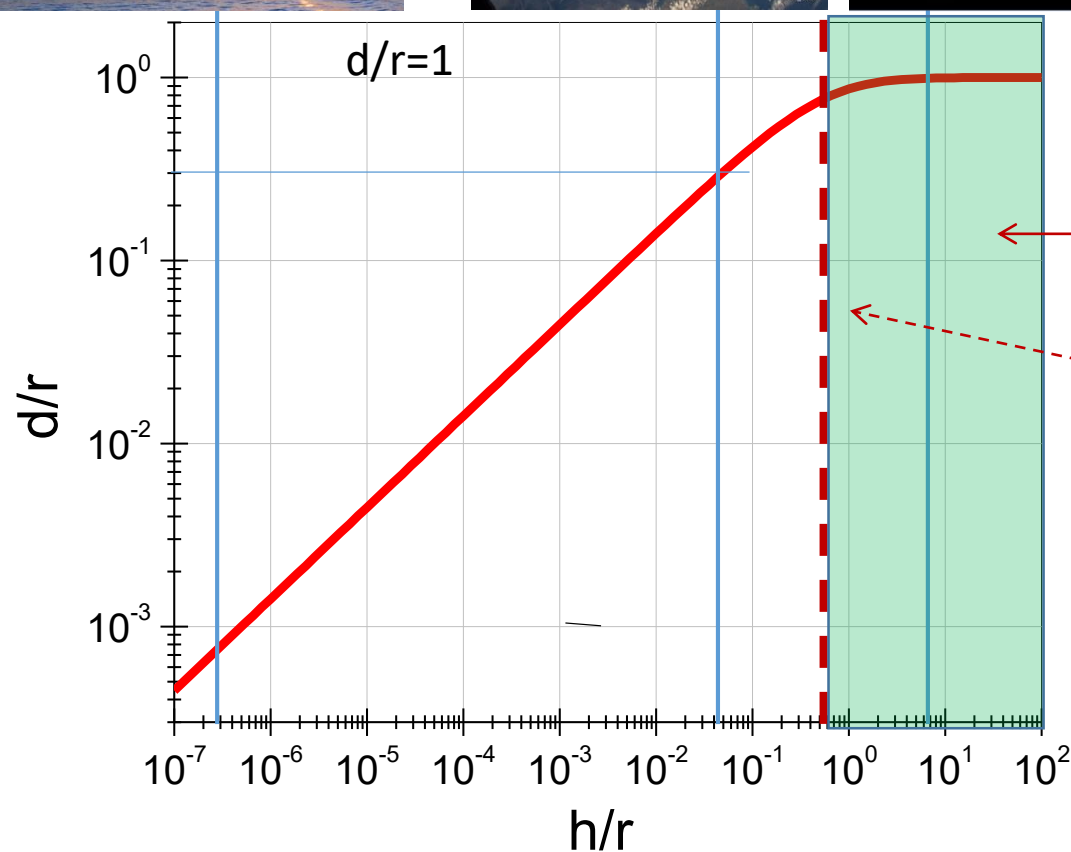
ISS
400km



Orbita geostazionaria
42164km



Proposizione 24: «Avvicinandosi l'occhio ad una sfera ciò che è visto sarà minore, mentre sembrerà essere visto maggiore»



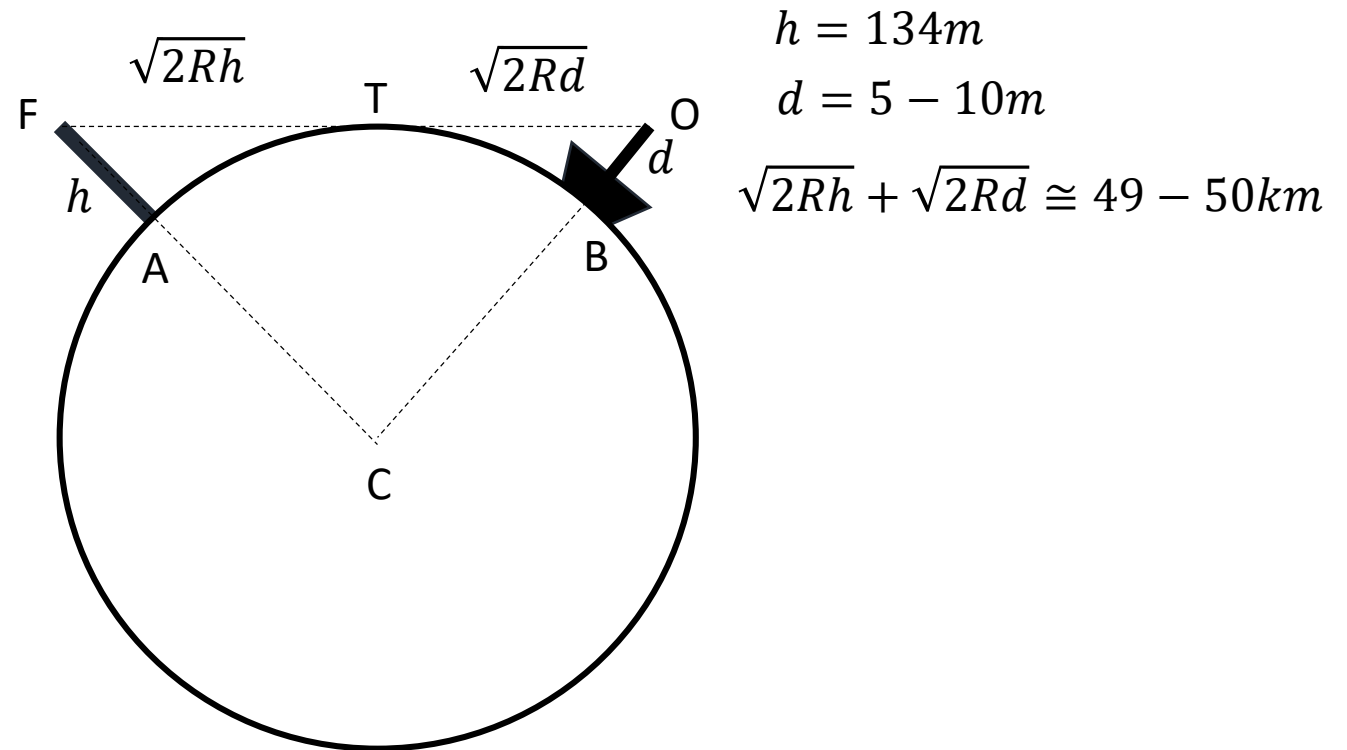
$$y = \frac{d}{r} = \frac{\sqrt{2\rho + \rho^2}}{1 + \rho}$$

$$\rho = \frac{h}{r} \quad y = \frac{d}{r}$$

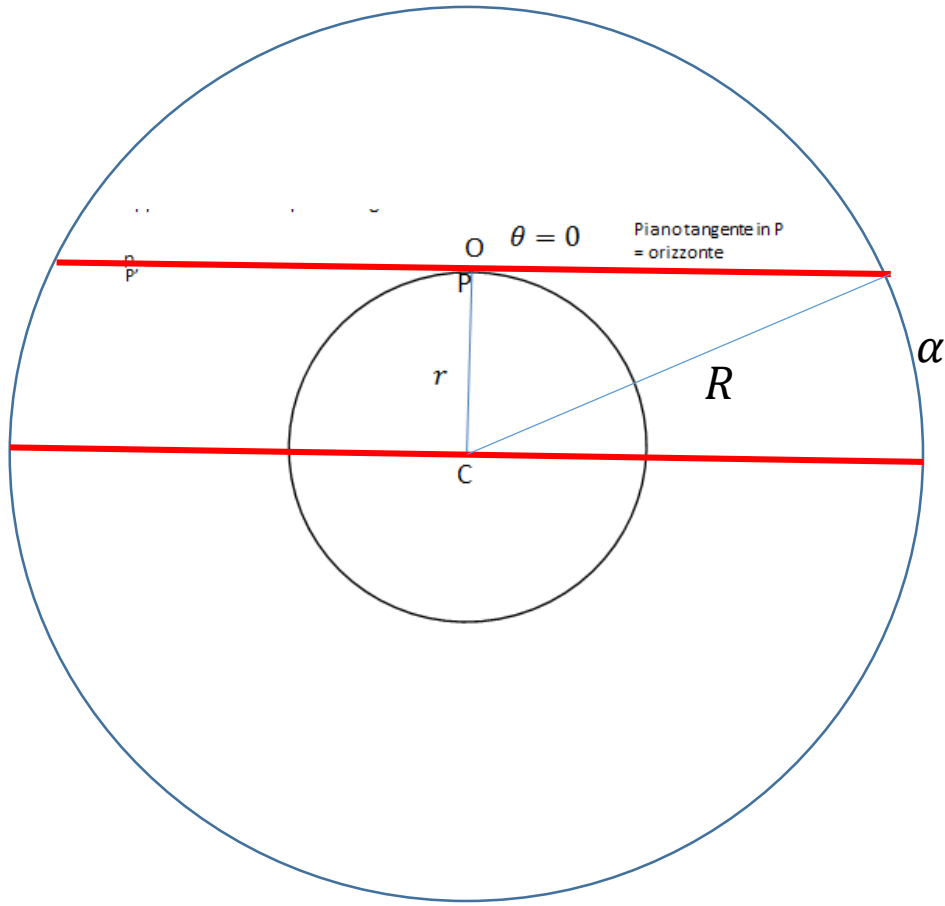
Ottica: Distanza dell'orizzonte e Faro



Si stima che la torre fosse alta **134 metri**, una delle più alte costruzioni esistenti per l'epoca, e il faro, secondo la testimonianza di [Flavio Giuseppe](#), poteva essere visto a **48 km** di distanza, cioè fino al limite consentito dalla sua altezza e dalla curvatura della superficie terrestre.



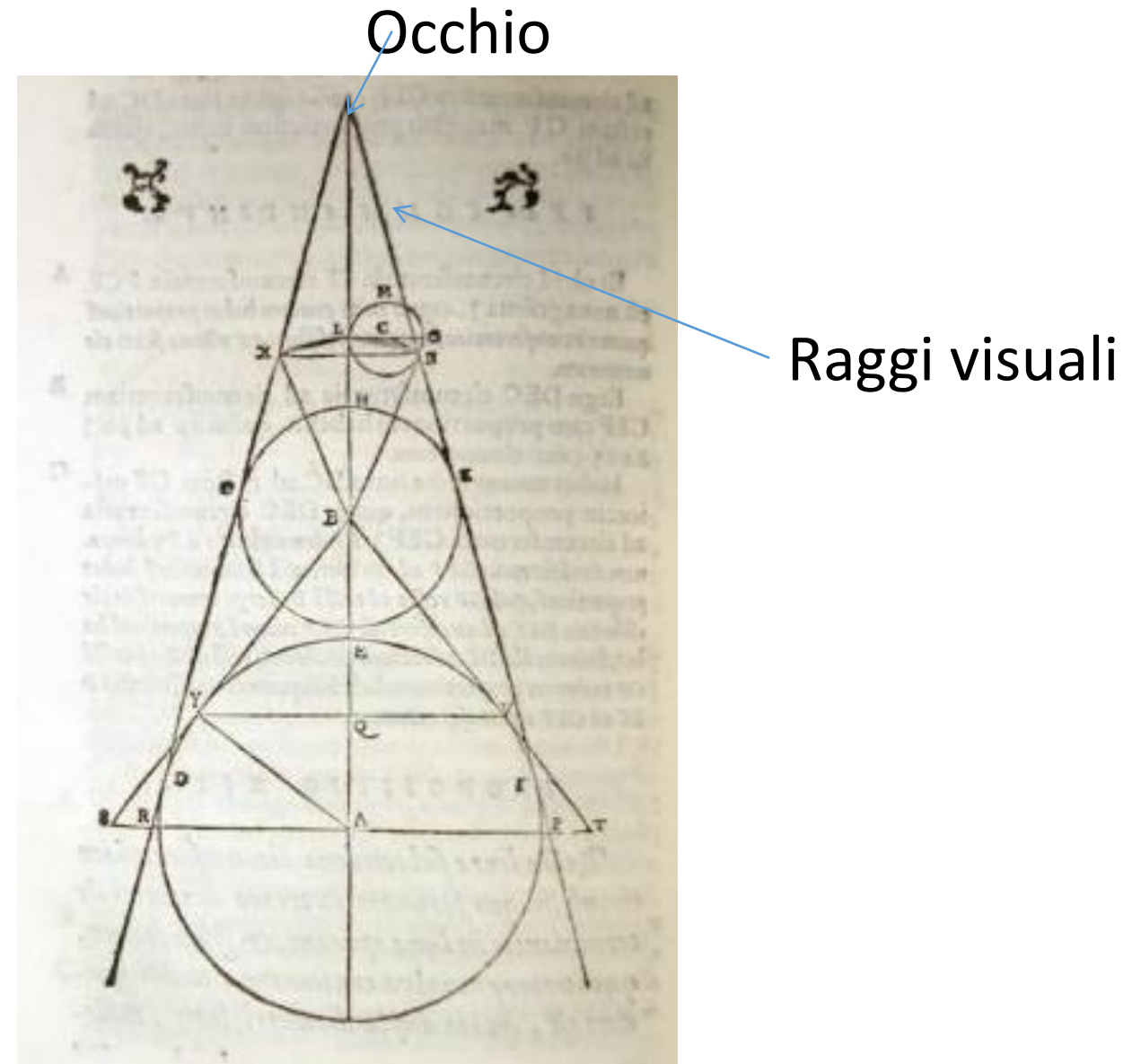
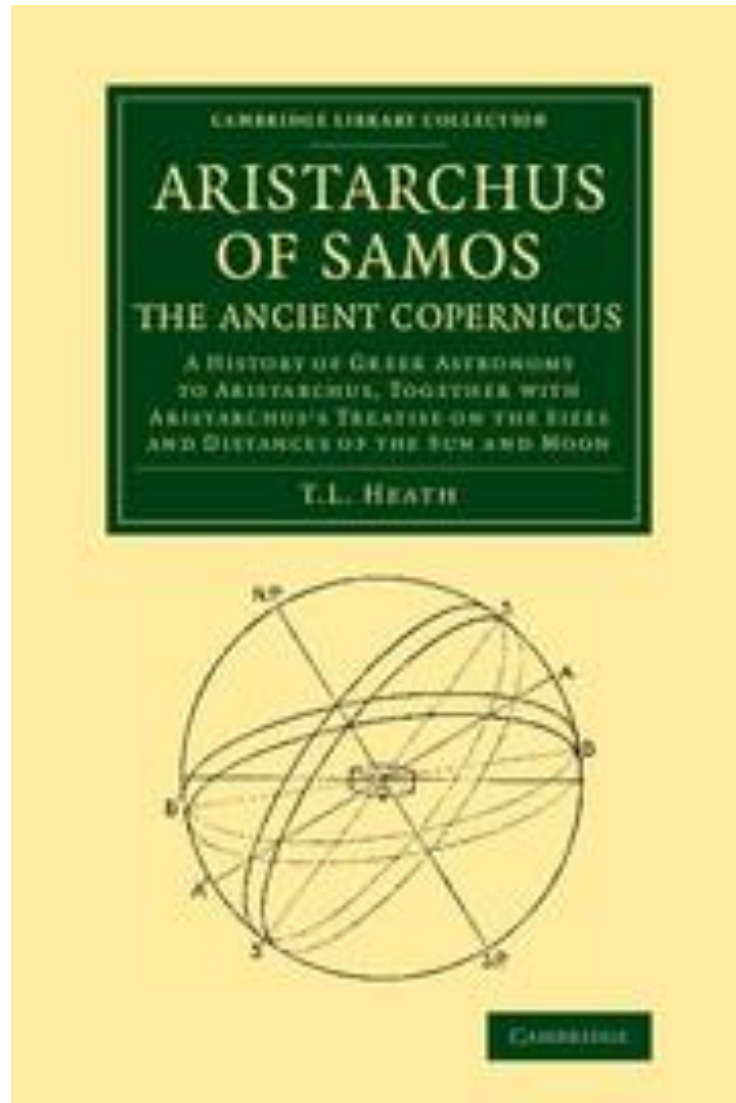
Ottica: che porzione di cielo vediamo?



*Ne dovremmo vedere meno di una semisfera.
Ma poiché vediamo in pratica mezza sfera
celeste questo vuol dire che essa si situa a una
distanza enorme, praticamente tale da poter
considerare la terra infinitesima o il raggio della
sfera celeste infinito*

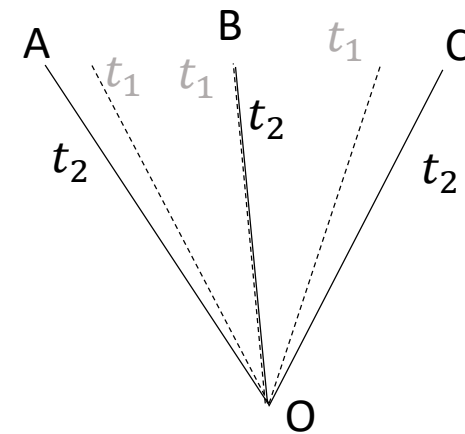
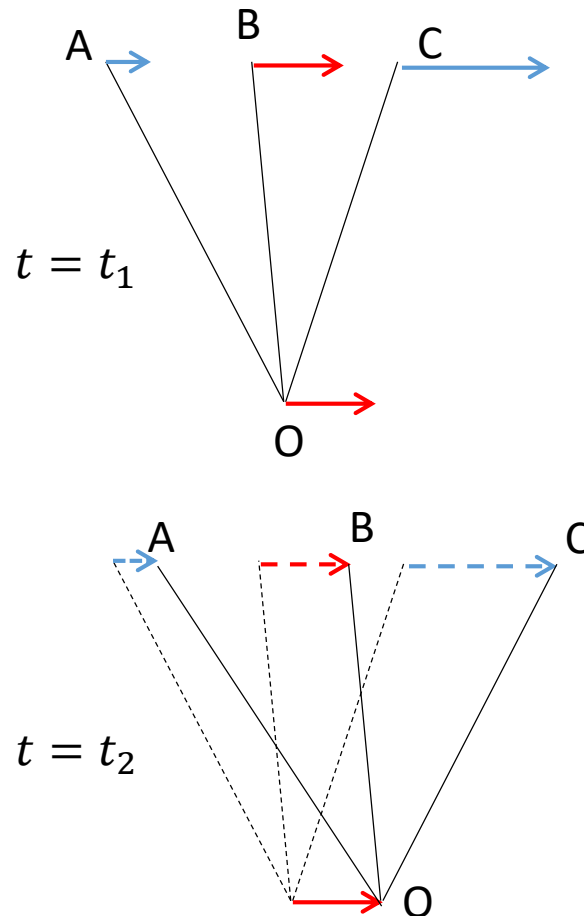
$$r/R = \sin\alpha \cong 0$$

Alcuni esempi di applicazioni all'astronomia: Eliocentrismo



L'Ottica: i teoremi 50-55 sul moto relativo

Proposizione 51: «Qualora, muovendosi più grandezze con velocità diseguale, si muova insieme di lato anche l'occhio dalla stessa parte, quelle che si muovono con la stessa velocità dell'occhio sembreranno stare ferme, quelle più lente sembreranno muoversi in verso opposto, quelle più veloci in avanti»

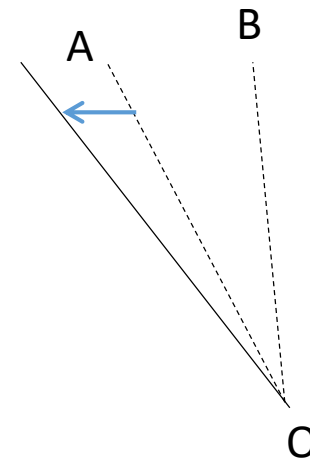
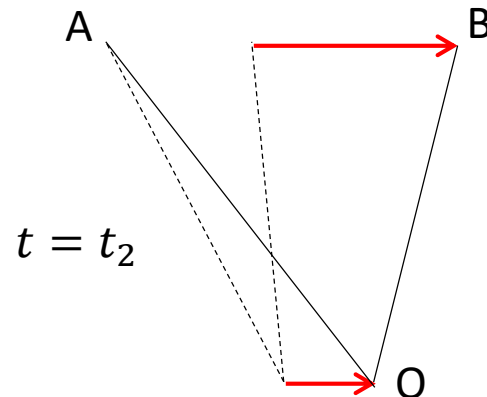
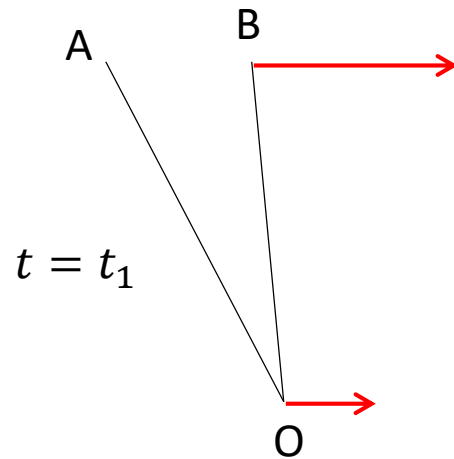


Come visto da O
A va indietro
C in avanti
B fermo

L'Ottica: i teoremi 50-55 sul moto relativo

Proposizione 52: «Qualora, muovendosi certe grandezze, traspare una certa grandezza che non si muove, ciò che non si muove sembrerà muoversi all'indietro»

L'asserzione «**Ciò che non si muove**» implica che Euclide pensasse il moto come moto assoluto ma questo è un moto che noi non possiamo osservare perché possiamo osservare solo moti relativi



Come visto da O
A va indietro

L'Ottica: relatività del moto e movimenti terrestri

Poiché non siamo in grado di vedere un moto assoluto ma solo un moto relativo tra occhio e oggetto allora non possiamo decidere se è la sfera delle stelle fisse a ruotare o l'occhio (la Terra)



Eraclide Pontico propone la rotazione terrestre in 24h per descrivere il moto diurno della sfera celeste

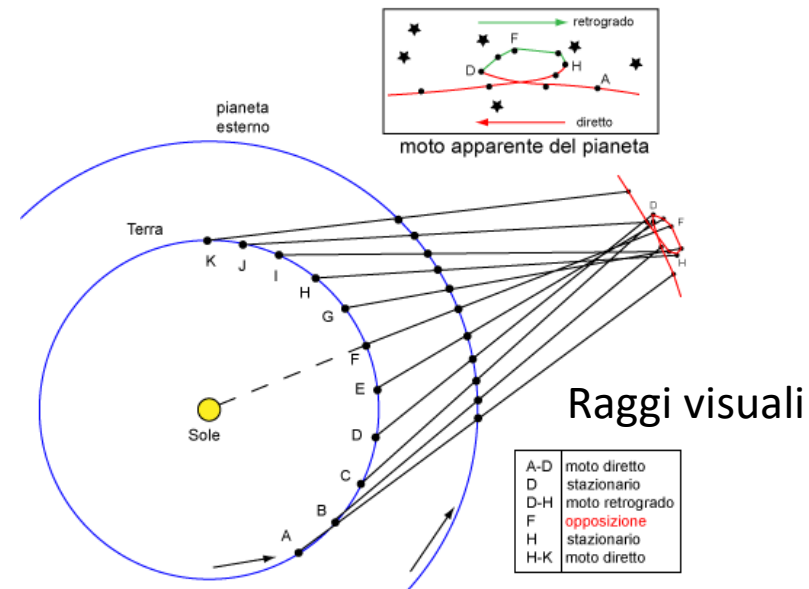
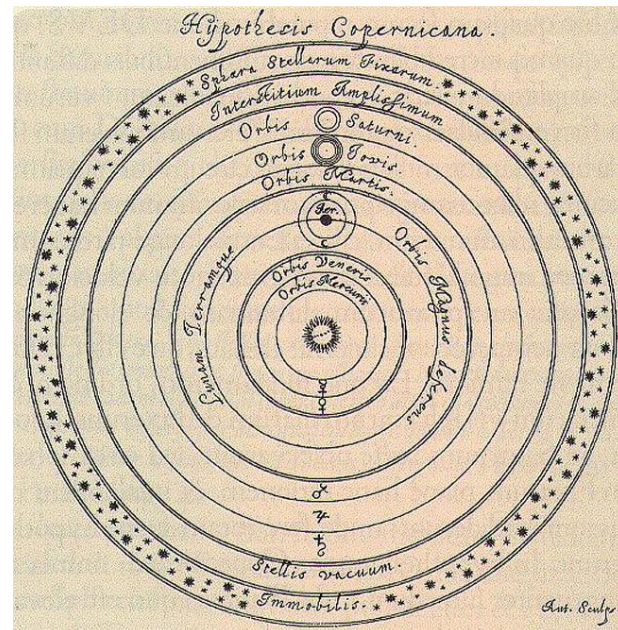
L'Ottica: relatività del moto e movimenti terrestri

Ma allora le stelle possono non trovarsi più su una sfera ma a distanze molto grandi ed esser ferme.

E il sole parimenti esser una stella, ferma.

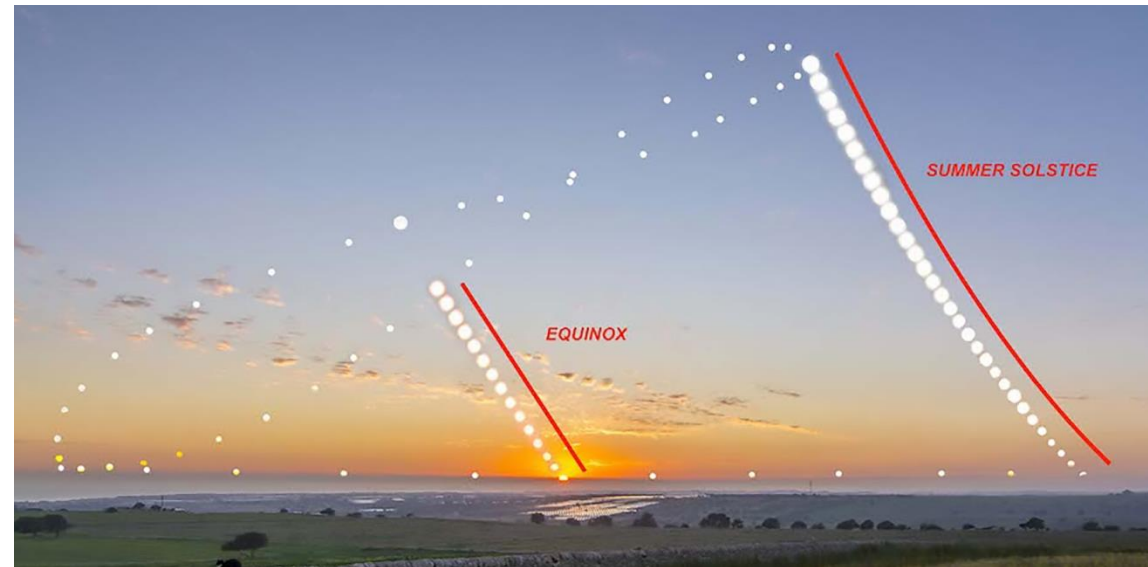
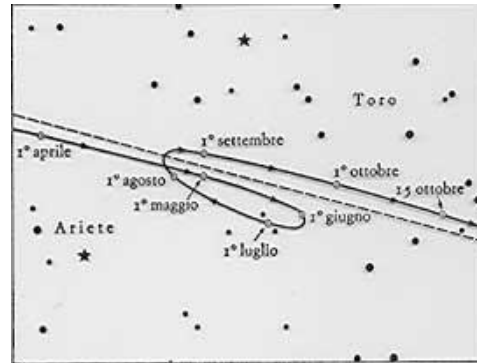
Allora è la Terra a muoversi anche di moto di rivoluzione (Aristarco)

Ciò spiega le retrogradazioni planetarie.



Alcuni esempi di applicazioni all'astronomia: Eliocentrismo

Fenomeni

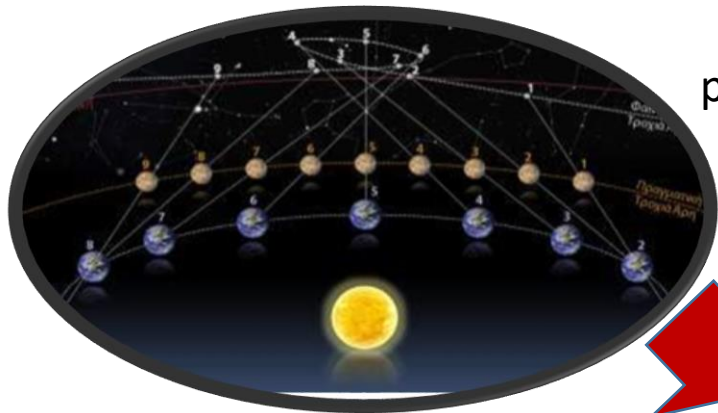


Alcuni esempi: Astronomia

Principi

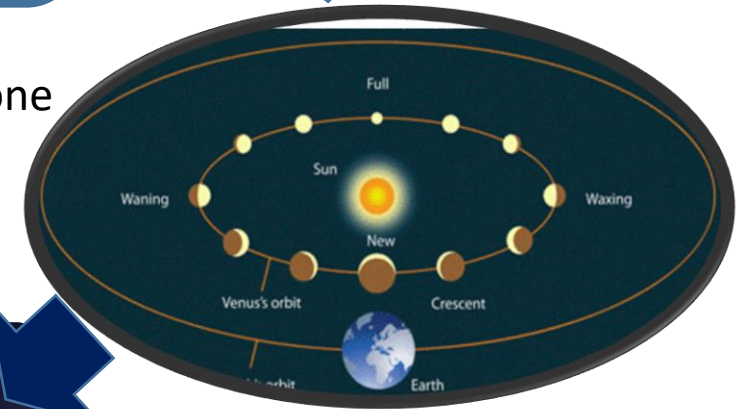
I principi non sono direttamente verificabili

1. Il Sole e le stelle sono fissi
2. La Terra è un pianeta orbitante attorno al Sole e ruota su se stessa
3. I pianeti orbitano attorno al Sole con velocità che decresce con la distanza

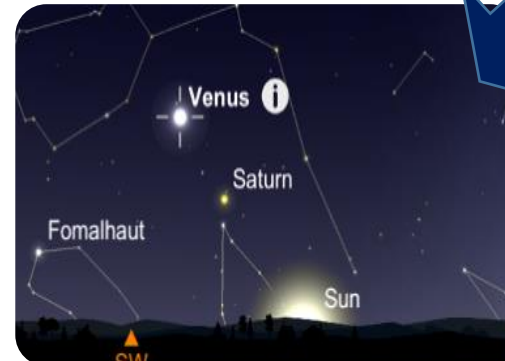
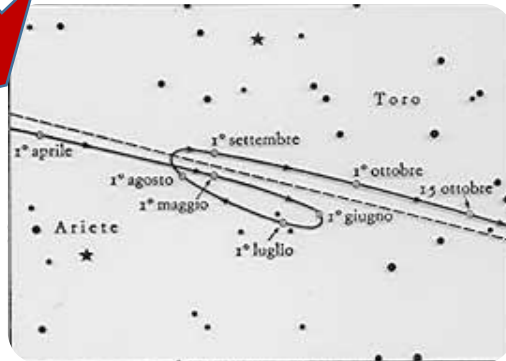


proposizione

proposizione



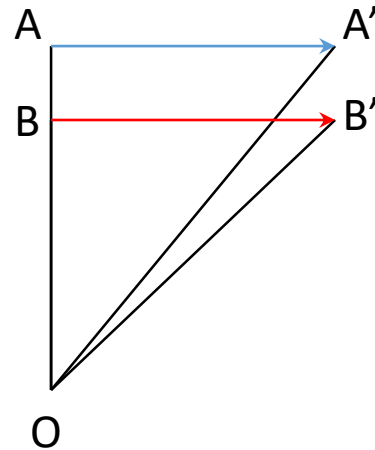
Fenomeni



L'Ottica: i teoremi 50-55 sul moto relativo

Proposizione 55: «Delle grandezze che si muovono con uguale velocità quelle lontane sembrano muoversi più lentamente»

Ci sono 3 dimostrazioni nella copia A. Prendiamo la terza.

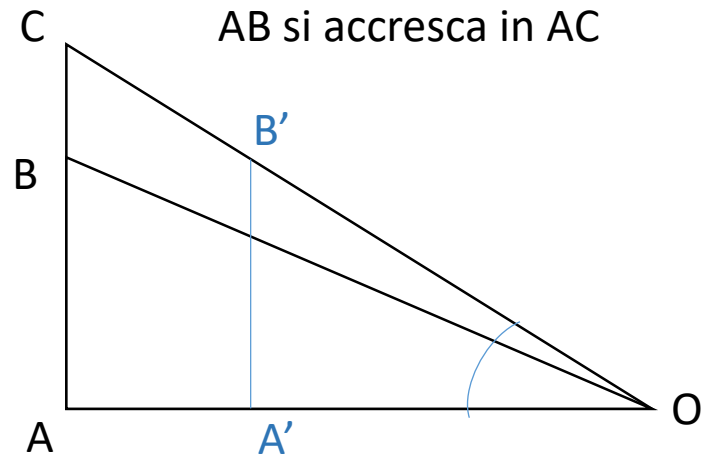


Si muovano due punti A, B su rette (*euteion*) parallele AA' e BB' uniformemente: transiteranno quindi per rette uguali in tempi uguali. Siano dunque uguali AA' e BB'. Dall'occhio O incidano raggi (*aktines*) OA, OB, OA' e OB'. Poiché dunque l'angolo AOA' è minore dell'angolo BOB', l'intervallo (*diastema*) AA' apparirà minore di BB', così che A sembrerà (*doxei*) muoversi più lentamente.

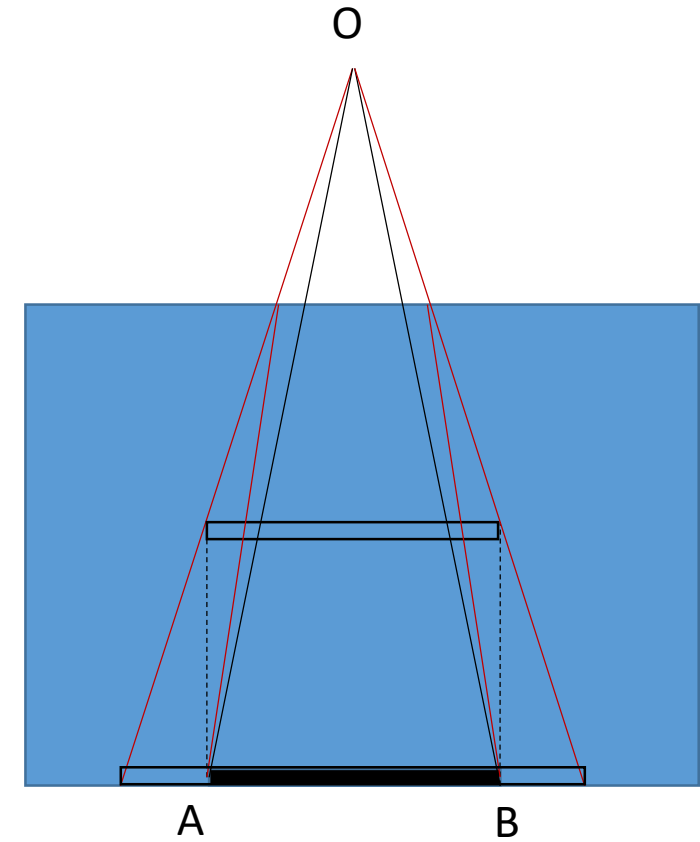
Ciò che per Platone è *doxa* (opinione) e dunque non suscettibile di scienza, qui diviene suscettibile di matematizzazione

L'Ottica: i teoremi 56: ingrandimenti

Proposizione 56: «Quelle che si accrescono delle grandezze sembreranno condursi davanti all'occhio»



*AB ingrandito in AC è equivalente
a A'B'*



L'Ottica: i teoremi 56: applicazione a lenti?

Proposizione 56: «Quelle che si accrescono delle grandezze sembreranno condursi davanti all'occhio»



La Lente di Nimrud esposta al [British Museum](#) (VII a.C.)

Lenses in Antiquity

Author(s): George Sines and Yannis A. Sakellarakis

Source: *American Journal of Archaeology*, Apr., 1987, Vol. 91, No. 2 (Apr., 1987), pp. 191-196

Published by: Archaeological Institute of America

Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/505216>

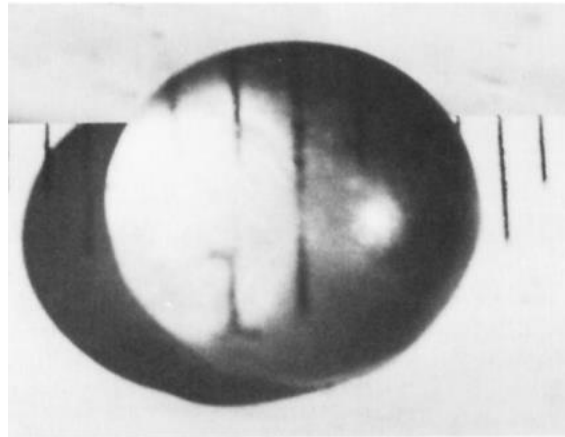


Fig. 1. Plano-convex crystal lens from the Idaean Cave, Archaic Greek, 8 mm. diameter. Archaeological Museum, Herakleion.

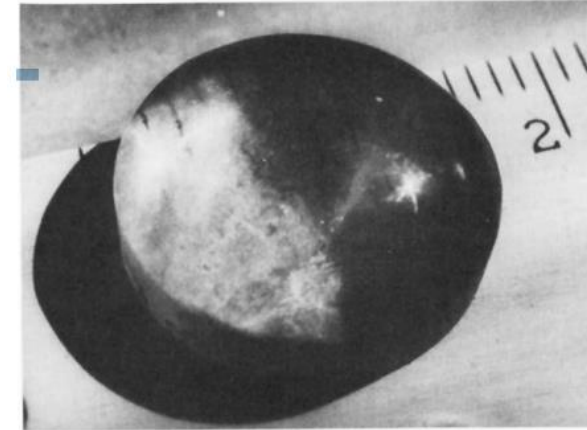
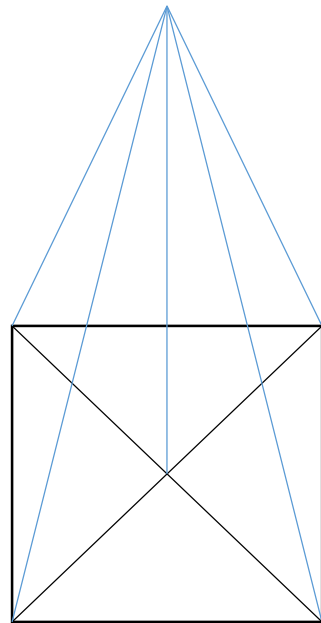


Fig. 2. Plano-convex crystal lens from the Idaean Cave, Archaic Greek, 15 mm. diameter. Archaeological Museum, Herakleion.

L'Ottica: i teoremi 57-58

Proposizione 58: «Qualora dal contatto comune delle diagonali di un quadrato ad angoli retti sia condotta una retta e su questa sia posto l'occhio i lati del quadrato appariranno uguali e anche le diagonali appariranno uguali»



Non si capisce perché lo pone qui, è banale. E' bello pensare che conclude richiamandosi alla dimostrazione che fa Socrate allo schiavo nel Menone, dimostrando virtualmente a Platone non solo che si può matematizzare le apparenze visive ma che, pur non volendo usare il sistema assiomatico-deduttivo degli elementi che dimostra nella prop. 46 la costruibilità di quadrati, è fondamentale anche per la sua dimostrazione «ad occhio» della duplicazione del quadrato.

PARTE IV

Il Contesto culturale e i Moderni

La filosofia ellenistica alle fonti della visione scientifica ellenistica?

Scetticismo (Pirrone)

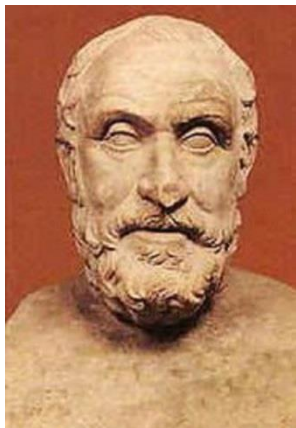
Sesto Empirico: «noi scettici non contestiamo ciò che induce involontariamente il nostro assenso a un'impressione sensibile, e cioè ai phainòmena».

Epicureismo (Epicuro)

Epicuro: «Quando si accetta una spiegazione respingendone un'altra che è allo stesso modo in accordo con il fenomeno, è chiaro che si esce dall'investigazione scientifica e si scivola nel mito».

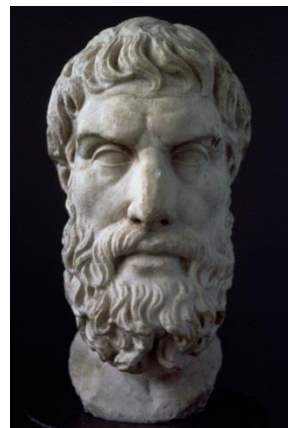
Stoicismo (Zenone di Cizio)

Sfero di Boristene: «L'apparenza percettiva (καταληπτικὴν φαντασίαν) è fondamentale; ciò che appare ragionevole può risultare invece diverso»



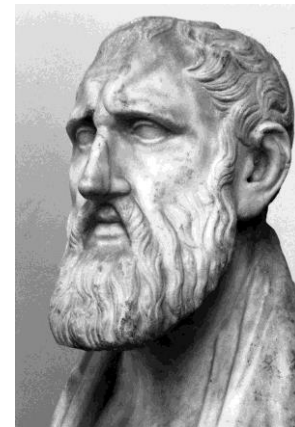
Pirrone

365 a.C. – 275 a.C.



Epicuro

341 a.C. – 270 a.C.



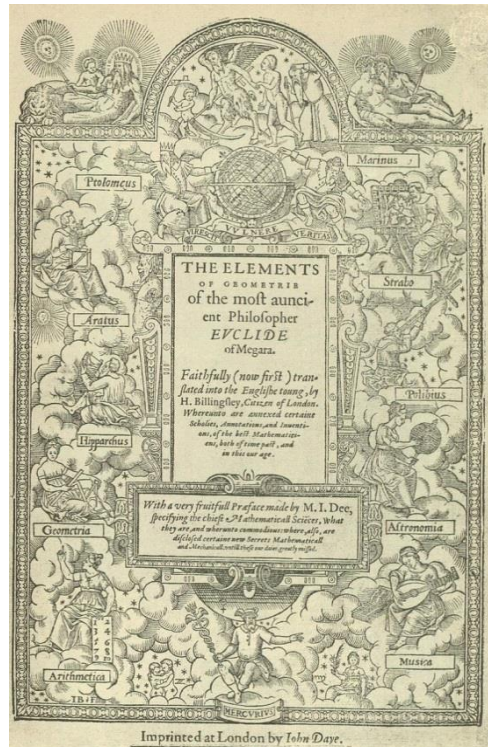
Zenone di Cizio

361 a.C. – 263 a.C.

Cosa è la scienza

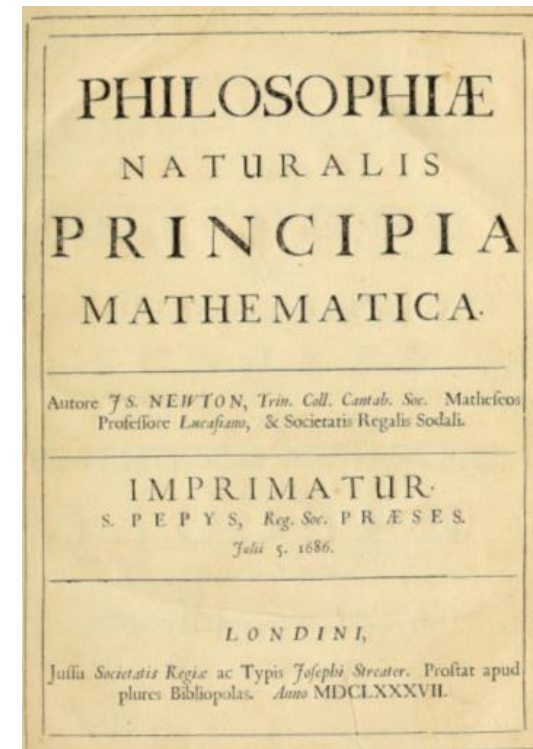
Ta Mathematica *per Oroí, Aitémata* o Hypotheses

La **scienza ellenistica** si basa su teorie che hanno una struttura **ipotetico-deduttiva** e ha come obiettivo «salvare i fenomeni»



Scientia *per Principia* Matematica

La **scienza moderna** ha una natura **induttiva** e **deduttiva** e ha come fine la ricerca delle leggi o principi del mondo



Gli enti teorici

La scienza ellenistica

Le affermazioni della teoria riguardano *enti teorici estratti per sottrazione da enti concreti o completamente astratti* non considerati veri ma verosimili.

Ciò va sotto il nome di *costruttivismo scientifico*

La scienza moderna

Le affermazioni della teoria riguardano *enti teorici estratti per sottrazione da enti concreti (eliminare gli accidenti) o completamente astratti ma ritenuti veri e oggettivi pur non essendo sensibili (elettroni, spin, cariche, campi, buchi neri, onde elettromagnetiche ecc...).*

Ciò va sotto il nome di *realismo scientifico*

Gli esperimenti

La scienza ellenistica

Gli esperimenti servono a catalogare i fenomeni in modo da dedurre **possibili** postulati in modo consapevolmente sottodeterminato.

Di rimando le conseguenze dei postulati (teoremi) vengono usati per *salvare i fenomeni* o per realizzare tecnologia.

La scienza moderna

Gli esperimenti servono a catalogare i fenomeni in modo da indurre i **veri** principi o le **vere** leggi in modo univoco (in Newton ma non in Maxwell).

Di rimando le conseguenze dei postulati (teoremi) vengono usati per salvare i fenomeni o per realizzare tecnologia ma anche per *salvare una teoria* mediante «experimentum crucis» (esperimento di Young non dimostra che la luce è un'onda ma che con l'idea classica di corpuscolo non siamo in grado di salvare il fenomeno in questione).

Le «Ipotesi» e i «Fenomeni»

Le ipotesi («ciò che sta sotto», il fondamento) **non sempre o quasi mai sono direttamente verificabili** (moto della Terra, raggi visivi, il postulato di Archimede sui C.G., le rette parallele di EL.).

I fenomeni sono considerati *veri* e inerenti la relazione tra realtà e osservatore (consapevolezza che il fenomeno dipende dal metodo con cui lo osserviamo); vanno indagati mediante esperimenti (di cui il soggetto è parte integrante attiva).

Ciò ha un prezzo: possono esistere più teorie basate su postulati diversi che sono in grado di *salvare* gli stessi fenomeni (sotto-determinazione delle teorie).

Come nel caso della teoria di Maxwell e di Weber

Le ipotesi assumono il significato di «congetture» («Hypoteses non fingo») e non vanno «inventate». Al contrario le **leggi devono essere scoperte** (*deducibili in modo univoco*) mediante la sperimentazione (Newton in Principia e Optiks I)

I fenomeni sono considerati veri e inerenti **la sola** realtà oggettiva, si usa la parola *fatti*. Essi vanno indagati mediante esperimenti di cui il soggetto non è parte integrante o lo è in chiave passiva (qualità primarie e secondarie di Galilei).

Esempio seicentesco: Simon Stevin 1608

«Postuliamo che la Terra sia completamente coperta dall'acqua senza che il vento o altre cause ne impediscano il flusso e riflusso».

Stevin ha ancora chiaro il significato di Postulato o Ipotesi usati come modello di realtà a cui non applicare le categorie vero-falso: qui infatti il postulato è palesemente falso.

L'eliocentrismo è la «vera» teoria?

Cardinal Bellarmino

*«Dico che mi pare che V.P. et il signor Galileo facciano prudentemente a contentarsi di parlare «ex suppositione» e non assolutamente [...]. Perché il dire che, supposto che la Terra si muova et il Sole stia fermo, si **salvano tutte le apparenze** meglio che non porre gli eccentrici et epicicli, è benissimo detto, e non ha pericolo nessuno; e questo basta al mathematico: ma voler 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 anche di nuocere alla Santa Fede con rendere false le Scritture Sante».*

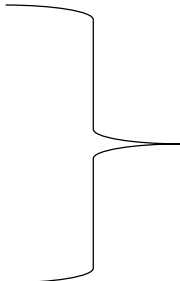
Bellarmino ha ragione nella prima parte ma cade nell'errore di considerare la filosofia naturale scissa dalla Matematica e le cui verità sono di pertinenza della prima in quanto la seconda non sarebbe portatrice di verità ma di «ipotesi»

Prefazione alla seconda edizione dei Principia di Roger Cotes del 1713.

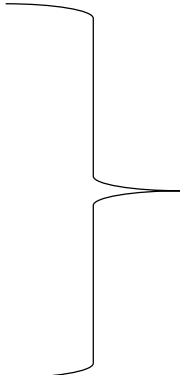
*«Coloro che professano la filosofia sperimentale derivano le cause di tutte le cose da princìpi i più semplici possibili; e non assumono come **principio** niente che non sia stato **provato dai fenomeni**. **Non costruiscono ipotesi**, né le accettano in filosofia se non come affermazioni la cui verità è oggetto di discussione. Procedono perciò secondo un duplice metodo, analitico e sintetico. Mediante l'analisi **deducono da alcuni fenomeni particolari le forze della natura** e le leggi più semplici delle forze, dalle quali mostrano poi, mediante la sintesi, la costruzione del resto. E' questo quel modo di filosofare, incomparabilmente migliore, che il nostro celeberrimo autore abbracciò a preferenza degli altri.»*

Newton nei «Principia»

But hitherto I have not been able to discover the cause of those properties of gravity from phenomena, and I frame no hypotheses; for whatever is not deduced from the phenomena is to be called an hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or physical, whether of occult qualities or mechanical, have no place in experimental philosophy. . . . And to us it is enough that gravity does really exist, and act according to the laws which we have explained, and abundantly serves to account for all the motions of the celestial bodies, and of our sea.



Qui no è greco



Qui è greco

Un esempio: «Optiks» Vol.I di Newton

- ❑ E' strutturato come Definizioni, Assiomi e Teoremi
- ❑ Le definizioni sono simili agli Oroi degli Elementi (periodo tardo ellenistico di Teone)
- ❑ Gli Assiomi sono simili per struttura a quelli dell'Ottica di Euclide e sono descrizioni di esperimenti come nella Catottrica di Tolomeo o nel trattato sulle distanze di Sole e Luna di Aristarco
- ❑ Le proposizioni o teoremi non sono deduzioni teoriche e logiche dagli assiomi ma esperimenti dimostrativi!

THE
FIRST BOOK
OF
OPTICKS

PART I.

MY Design in this Book is not to explain the Properties of Light by Hypotheses, but to propose and prove them by Reason and Experiments: In order to which I shall premise the following Definitions and Axioms.

DEFINITIONS

DEFIN. I.

BY the Rays of Light I understand its least Parts, and those as well Successive in the same Lines, as Contemporary in several Lines. For it is manifest that Light consists of Parts, both Successive and Contemporary; because in the same place you may stop

2

OPTICKS

that which comes one moment, and let pass that which comes presently after; and in the same time you may stop it in any one place, and let it pass in any other. For that part of Light which is stopp'd cannot be the same with that which is let pass. The least Light or part of Light, which may be stopp'd alone without the rest of the Light, or propagated alone, or do or suffer any thing alone, which the rest of the Light doth not or suffers not, I call a Ray of Light.

DEFIN. II.

Refrangibility of the Rays of Light, is their Disposition to be refracted or turned out of their Way in passing out of one transparent Body or Medium into another. And a greater or less Refrangibility of Rays, is their Disposition to be turned more or less out of their Way in like Incidences on the same Medium. Mathematicians usually consider the Rays of Light to be Lines reaching from the luminous Body to the Body illuminated, and the refraction of those Rays to be the bending or breaking of those lines in their passing out of one Medium into another. And thus may Rays and Refractions be considered, if Light be propagated in an instant. But by an Argument taken from the *Æquations* of the times of the Eclipses of *Jupiter's Satellites*, it seems that Light is propagated in time, spending in its passage from the Sun to us about seven Minutes of time: And therefore I have chosen to define Rays and Refractions in such general terms as may agree to Light in both cases.

DEFIN. III.

Reflexibility of Rays, is their Disposition to be reflected or turned back into the same Medium from any other Medium upon whose Surface they fall. And Rays are more or less reflexible, which are turned back more or less easily. As if Light pass out of a Glass into Air, and by being inclined more and more to the common Surface of the Glass and Air, begins at length to be totally reflected by that Surface; those sorts of Rays which at like Incidences are reflected most copiously, or by inclining the Rays begin soonest to be totally reflected, are most reflexible.

DEFIN. IV.

The Angle of Incidence is that Angle, which the Line described by the incident Ray contains with the Perpendicular to the reflecting or refracting Surface at the Point of Incidence.

DEFIN. V.

The Angle of Reflexion or Refraction, is the Angle which the line described by the reflected or refracted Ray containeth with the Perpendicular to the reflecting or refracting Surface at the Point of Incidence.

DEFIN. VI.

The Sines of Incidence, Reflexion, and Refraction, are the Sines of the Angles of Incidence, Reflexion, and Refraction.

AXIOMS.

AX. I.

THE Angles of Reflexion and Refraction, lie in one and the same Plane with the Angle of Incidence.

AX. II.

The Angle of Reflexion is equal to the Angle of Incidence.

AX. III.

If the refracted Ray be returned directly back to the Point of Incidence, it shall be refracted into the Line before described by the incident Ray.

AX. IV.

Refraction out of the rarer Medium into the denser, is made towards the Perpendicular; that is, so that the Angle of Refraction be less than the Angle of Incidence.

AX. V.

The Sine of Incidence is either accurately or very nearly in a given Ratio to the Sine of Refraction.

Whence if that Proportion be known in any one Inclination of the incident Ray, 'tis known in all the Inclinations, and thereby the Refraction in all cases

AX. VIII.

An Object seen by Reflexion or Refraction, appears in that place from whence the Rays after their last Reflexion or Refraction diverge in falling on the Spectator's Eye.

If the Object A [in Fig. 9.] be seen by Reflexion of a Looking-glass *mn*, it shall appear, not in its

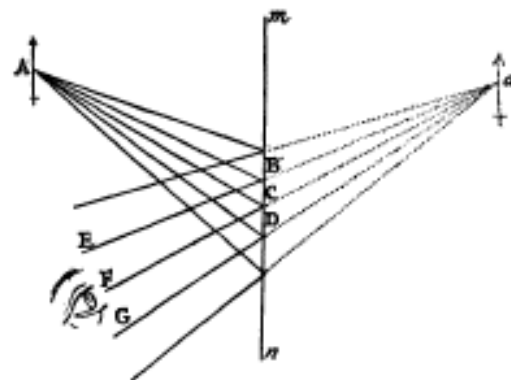


FIG. 9.

proper place A, but behind the Glass at *a*, from whence any Rays AB, AC, AD, which flow from one and the same Point of the Object, do after their Reflexion made in the Points B, C, D, diverge in going from the Glass to E, F, G, where they are incident on the Spectator's Eyes. For these Rays do make the same Picture in the bottom of the Eyes as if they had come from the Object really placed at *a* without the Interposition of the Looking-glass; and all Vision is made according to the place and shape of that Picture.

Opticks. For what hath been generally agreed on I content my self to assume under the notion of Principles, in order to what I have farther to write. And this may suffice for an Introduction to Readers of quick Wit and good Understanding not yet versed in Opticks: Although those who are already acquainted with this Science, and have handled Glasses, will more readily apprehend what followeth.

PROPOSITIONS.

PROP. I. THEOR. I.

Lights which differ in Colour, differ also in Degrees of Refrangibility.

The PROOF by Experiments.

Exper. 1. I took a black oblong stiff Paper terminated by Parallel Sides, and with a Perpendicular right Line drawn cross from one Side to the other, distinguished it into two equal Parts. One of these parts I painted with a red colour and the other with a blue. The Paper was very black, and the Colours intense and thickly laid on, that the Phænomenon might be more conspicuous. This Paper I view'd through a Prism of solid Glass, whose two Sides through which the Light passed to the Eye were plane and well polished, and contained an Angle of about sixty degrees; which Angle I call the refracting Angle of the Prism. And whilst I view'd it,

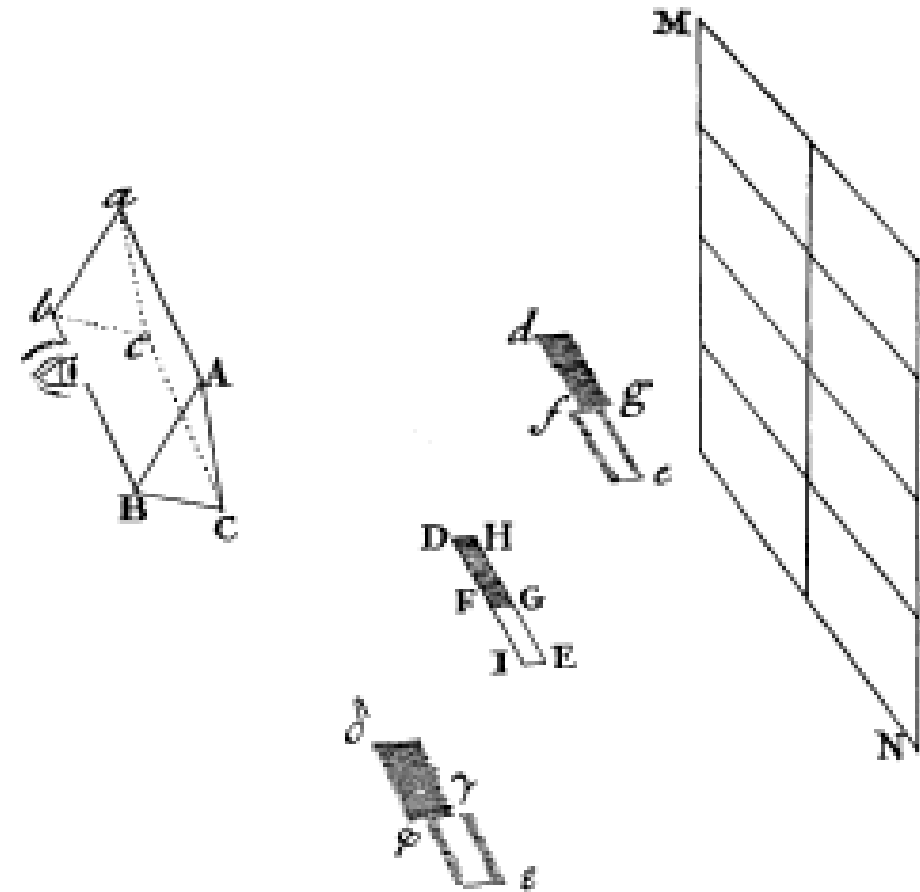


FIG. 11.

and in the blue there are some Rays not more re-frangible than those of the red: But these Rays, in proportion to the whole Light, are but few, and serve to diminish the Event of the Experiment, but are not able to destroy it. For, if the red and blue-Colours were more dilute and weak, the distance of the Images would be less than an Inch and a half; and if they were more intense and full, that distance would be greater, as will appear hereafter. These Experiments may suffice for the Colours of Natural Bodies. For in the Colours made by the Refraction of Prisms, this Proposition will appear by the Experiments which are now to follow in the next Proposition.

PROP. II. THEOR. II.

The Light of the Sun consists of Rays differently Refrangible.

The PROOF by Experiments.

Exper. 3. **I**N a very dark Chamber, at a round Hole, about one third Part of an Inch broad, made in the Shut of a Window, I placed a Glass Prism, whereby the Beam of the Sun's Light, which came in at that Hole, might be refracted upwards toward the opposite Wall of the Chamber, and there form a colour'd Image of the Sun. The Axis of the Prism (that is, the Line passing through the middle of the Prism from one end of it to the other end parallel to the edge of the Refracting Angle) was in

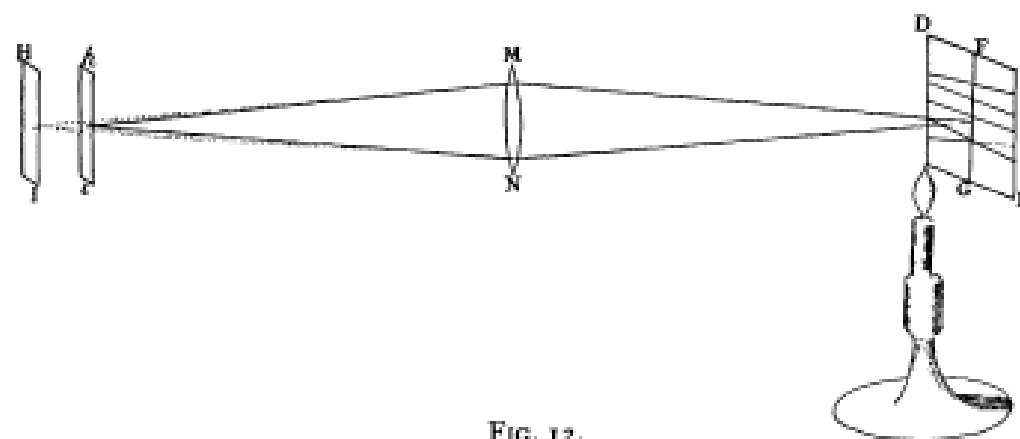


FIG. 12.

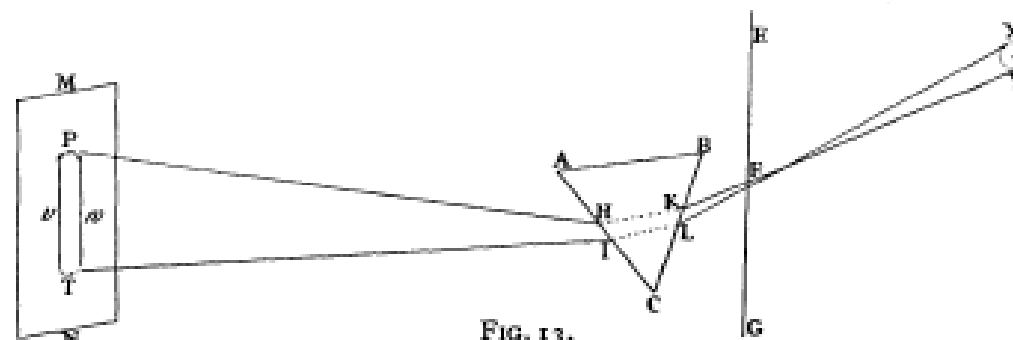


FIG. 13.

Inizia lo scontro tra Hooke e Newton

Hooke (lettera a Oldenburg per Newton del 15 febbraio 1672. p.19) :

«[...] quanto alla sua ipotesi di salvare i fenomeni dei colori in quel modo confesso che non riesco a vedere alcun argomento irrefutabile per convincermi della sua certezza. [...] tutti gli esperimenti e le osservazioni che ho fatto finora, e addirittura quegli stessi esperimenti che egli ha riportato, mi sembrano dimostrare che la luce non è altro che un impulso o un moto propagato attraverso un mezzo omogeneo, uniforme e trasparente e che il colore non è altro che la perturbazione di quella luce dovuta alla sua rifrazione».

Cioè Hooke nega che le affermazioni di Newton sulla luce e i colori siano constatazioni fattuali, perché per lui sono soltanto mere ipotesi, e di conseguenza le asserzioni newtoniane sulla certezza della sua teoria gli sembrano prive di senso.

Hooke (lettera a Oldenburg per Pardies del 10 Giugno 1672. p.238) :

«Quella dottrina che ho esposto sulla rifrazione e sui colori consiste soltanto in certe proprietà della luce, trascurando le ipotesi su cui si devono spiegare quelle proprietà. Il modo migliore e più sicuro di filosofare, infatti, sembra essere, in primo luogo, quello di ricercare con accuratezza le proprietà delle cose e di stabilirle mediante esperimenti e quindi, in seguito, di rivolgersi alle ipotesi per la loro spiegazione. Infatti le ipotesi si devono soltanto applicare alla spiegazione delle proprietà delle cose, e non usare per determinarle, se non in quanto possano offrire conferma agli esperimenti. E se qualcuno può fare una congettura sulla verità delle cose soltanto dalla possibilità delle ipotesi, non vedo in che modo si possa stabilire qualcosa di certo in alcuna scienza, dal momento che è sempre lecito escogitare ipotesi continuamente diverse, che sembreranno procurare nuove difficoltà»

Inizia lo scontro tra Huygens e Newton

Huygens (lettera di Oldenburg a Newton del 18 gennaio 1673. p.274) :

«è possibile che il giallo e l'azzurro siano ancora sufficienti allo scopo: la qual cosa vale la pena di essere provata, e la si può fare con l'esperienza che propone il sig. Newton di raccogliere sulla parete di una camera oscura i colori del prisma e di illuminare mediante la loro luce riflessa un foglio di carta bianco. Bisognerebbe impedire ai colori delle stremità ossia al rosso e al porpora di abattere contro la parete e lasciare soltanto i colori intermedi, il giallo, il verde e l'azzurro, per vedere se la luce di questi ultimi non faccia apparire bianco il foglio di carta altrettanto bene come quando lo illuminiamo tutti insieme. Comprendete bene che, se quets eespereize riescono, non si potrà più dire che sono necessari tutti i colori per comporre il bianco.».

Cioè Huygens pone un limite all'esperimento cruciale di Newton e alla sua ipotesi «vera» che tutti i colori primari servono per il bianco.

Newton (lettera a Oldenburg per Huygens del 3 Aprile 1673. p.277-278) :

«Quando lo avrò fatto gli dirò perché non può concluderne alcunché. Ma credo che non possa essere effettuato un esperimento di quel tipo, perché mi ricordo che una volta ho provato. Essendo però trascorsi alcuni anni da quando feci questo esperimento, non ricordo bene le circostanze e quindi consiglio ad altri di provare a farlo ancora»

- ❑ Il Vo. II è strutturato come Osservazioni ed esperimenti

THE SECOND BOOK OF OPTICKS

PART I.

Observations concerning the Reflexions, Refractions, and Colours of thin transparent Bodies.

IT has been observed by others, that transparent Substances, as Glass, Water, Air, &c. when made very thin by being blown into Bubbles, or otherwise formed into Plates, do exhibit various Colours according to their various thinness, altho' at a greater thickness they appear very clear and colourless. In the former Book I forbore to treat of these Colours, because they seemed of a more difficult Consideration, and were not necessary for establishing the Properties of Light there discoursed of. But because they may conduce to farther Discoveries for compleating the Theory of Light, especially as to the constitution of the parts of natural Bodies, on which

their Colours or Transparency depend; I have here set down an account of them. To render this Discourse short and distinct, I have first described the principal of my Observations, and then consider'd and made use of them. The Observations are these.

Obs. 1. Compressing two Prisms hard together that their sides (which by chance were a very little convex) might somewhere touch one another: I found the place in which they touched to become absolutely transparent, as if they had there been one continued piece of Glass. For when the Light fell so obliquely on the Air, which in other places was between them, as to be all reflected; it seemed in that place of contact to be wholly transmitted, insomuch that when look'd upon, it appeared like a black or dark spot, by reason that little or no sensible Light was reflected from thence, as from other places; and when looked through it seemed (as it were) a hole in that Air which was formed into a thin Plate, by being compress'd between the Glasses. And through this hole Objects that were beyond might be seen distinctly, which could not at all be seen through other parts of the Glasses where the Air was interjacent. Although the Glasses were a little convex, yet this transparent spot was of a considerable breadth, which breadth seemed principally to proceed from the yielding inwards of the parts of the Glasses, by reason of their mutual pressure. For by pressing them very hard together it would become much broader than otherwise.

Obs. 2. When the Plate of Air, by turning the

as brisk and copious as any of the other Colours, except the yellow, but the red began to be a little faded, inclining very much to purple. After this succeeded the fourth Circuit of green and red. The green was very copious and lively, inclining on the one side to blue, and on the other side to yellow. But in this fourth Circuit there was neither violet,

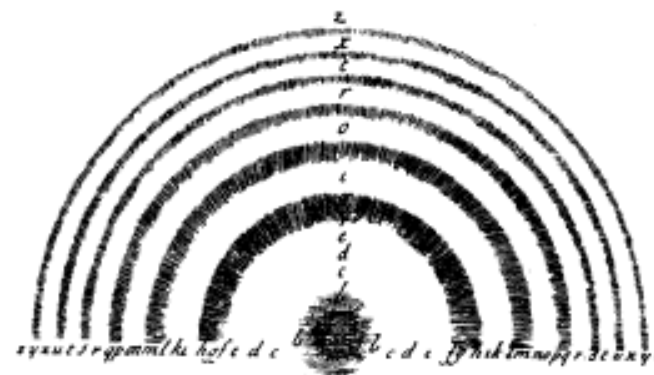


FIG. 2.

blue, nor yellow, and the red was very imperfect and dirty. Also the succeeding Colours became more and more imperfect and dilute, till after three or four revolutions they ended in perfect whiteness. Their form, when the Glasses were most compress'd so as to make the black Spot appear in the center, is delineated in the second Figure; where *a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, v, x, y, z*, denote the Colours reckon'd in order from the center, black, blue, white, yellow, red: violet, blue, green, yellow,

I diversi approcci di Newton alle «ipotesi» nei due libri di Ottica

*I libro: non usare ipotesi
(intro alla edizione 1607)*

«La mia intenzione in questo libro non è di spiegare le proprietà della luce mediante ipotesi, ma di proporle e di spiegarle con la ragione e gli esperimenti»

Il libro: si fanno ipotesi senza nessuna considerazione sulla loro verità o falsità

Those that are averse from assenting to any new Discoveries, but such as they can explain by an Hypothesis, may for the present suppose, that as Stones by falling upon Water put the Water into an undulating Motion, and all Bodies by percussion excite vibrations in the Air; so the Rays of Light, by impinging on any refracting or reflecting Surface, excite vibrations in the refracting or reflecting Medium or Substance, and by exciting them agitate the solid parts of the refracting or reflecting Body, and by agitating them cause the Body to grow warm or hot; that the vibrations thus excited . . . move faster than the Rays so as to overtake them; . . . and, by consequence, that every Ray is successively disposed to be easily reflected, or easily transmitted, by every vibration which overtakes it. But whether this Hypothesis be true or false I do not here consider. I content my self with the bare Discovery, that the Rays of Light are by some cause or other alternately disposed to be reflected or refracted for many vicissitudes.

IL programma di Newton è stato disatteso recuperando
men mano il ruolo delle Ipotesi ellenistiche

Il parziale recupero ottocentesco

Commento di Maxwell.

«Sembra esserci, nella mente di eminenti uomini, qualche pregiudizio, o obiezione a priori, contro l'ipotesi di un mezzo in cui si svolgono i fenomeni di irraggiamento della luce e del calore e le azioni elettriche a distanza. E' vero che un tempo coloro che speculavano sulle cause dei fenomeni fisici avevano l'abitudine di rendere conto di ogni tipo di azione a distanza per mezzo di uno speciale fluido etereo, la cui funzione e proprietà era quella di produrre queste azioni. Riempirono tutto lo spazio tre o quattro volte con eteri di tipi diversi, le cui proprietà furono inventate semplicemente per «salvare le apparenze», così che i ricercatori più razionali erano piuttosto disposti ad accettare non solo la precisa legge di attrazione di Newton a distanza, ma anche il dogma di Cotes, secondo cui l'azione a distanza è una delle proprietà primarie della materia, e che nessuna spiegazione può essere più intelligibile di questo fatto. Quindi la teoria ondulatoria della luce ha incontrato molta opposizione, diretta non contro la sua incapacità di spiegare i fenomeni, ma contro la sua assunzione dell'esistenza di un mezzo in cui la luce si propaga».

Il totale recupero ottocentesco: relatività e meccanica quantistica

Meccanica Quantistica

Le Osservabili di Heisenberg, le Funzione d'onda di Shroedinger, le variabili nascoste di Bohm

Relatività

I postulati della relatività ristretta (in particolare il secondo)

Il postulato di Einstein è diverso da quello di Newton

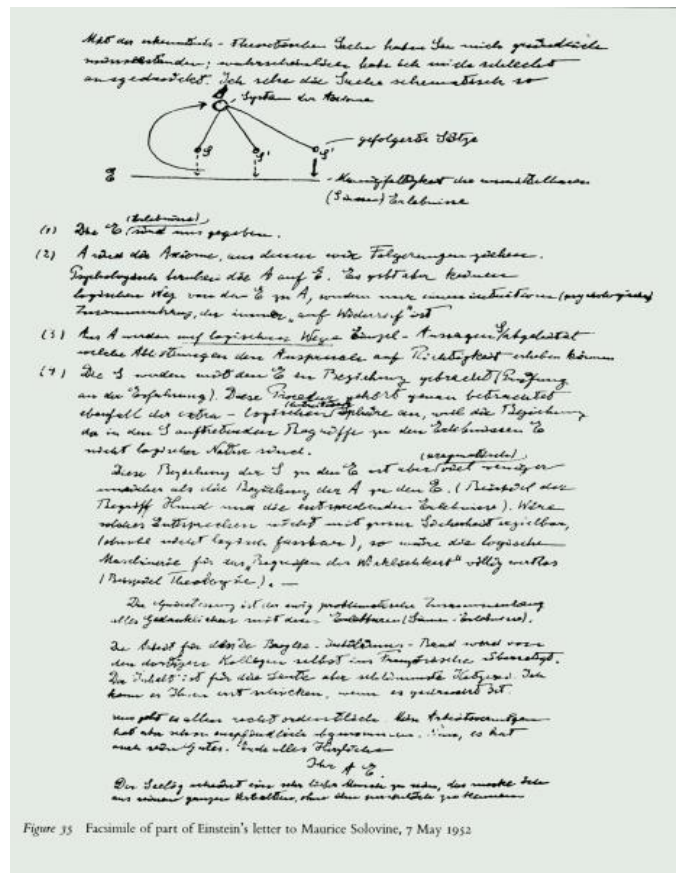
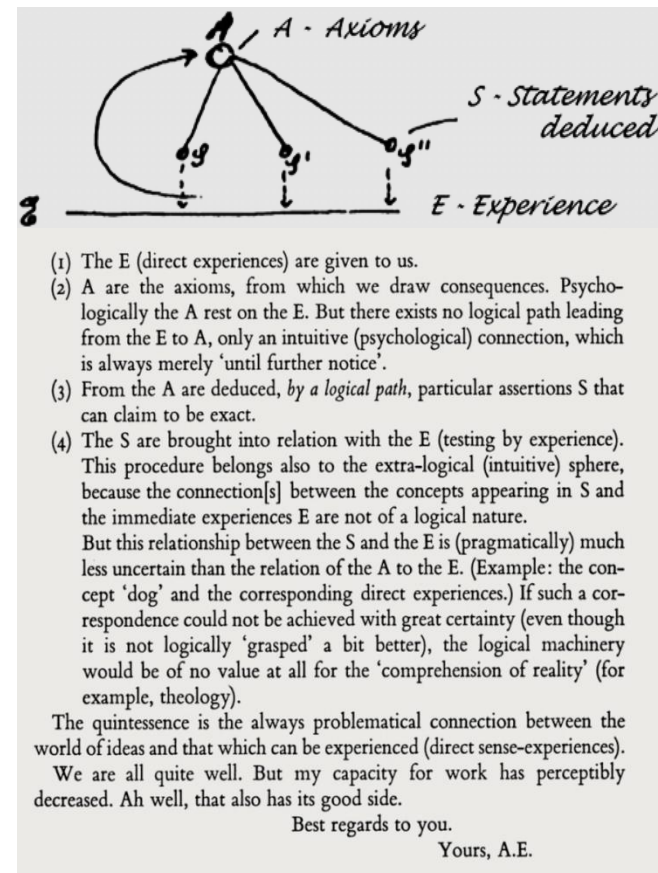


Figure 35 Facsimile of part of Einstein's letter to Maurice Solovine, 7 May 1952



Fonti principali

1. *Euclide-Tutte le opere*. A cura di Acerbi. F. Bompiani
2. Ovio G. *L'ottica di Euclide* Hoepli 1918
3. Russo L. *La rivoluzione dimenticata* Feltrinelli
4. Russo L. *Perché la cultura classica* Mondadori
5. Russo L. *Il Tracollo culturale* Carocci