



ISTITUTO E MUSEO
DI STORIA DELLA SCIENZA

Il compasso di Galileo

Qui di seguito sono stati raccolti tutti i testi dell'applicazione web *Il compasso di Galileo* in versione PDF e RTF.

I testi sono a cura dell'*Istituto e Museo di Storia della Scienza* di Firenze.

INDICE

1	STORIA	3
1.1	STORIA DI UN'INVENZIONE	3
1.2	COMPASSI A CONFRONTO	6
1.3	IL GIOCO DEI COMPASSI	8
2	ESPLORA	9
2.1	LO STRUMENTO	9
2.2	COME FUNZIONA	10
3	SIMULA	12
3.1	LE OPERAZIONI	12
3.1.1	Divisione di un segmento (<i>RECTO – Linee aritmetiche</i>)	12
3.1.2	Cambio delle monete (<i>RECTO – Linee aritmetiche</i>)	14
3.1.3	Ordinamento degli eserciti (<i>RECTO – Linee geometriche</i>)	16
3.1.4	Somma dei volumi (<i>RECTO – Linee stereometriche</i>)	18
3.1.5	Misura dei calibri (<i>RECTO – Linee metalliche</i>)	20
3.1.6	Divisione della circonferenza (<i>VERSO – Linee poligrafiche</i>)	22
3.1.7	Quadratura delle superfici regolari (<i>VERSO – Linee tetragoniche</i>)	24
3.1.8	Area dei settori circolari (<i>VERSO – Linee aggiunte</i>)	26
3.1.9	Squadra da bombardieri (<i>QUADRANTE - 1^a Scala</i>)	28
3.1.10	Quadrante astronomico (<i>QUADRANTE - 2^a Scala</i>)	29
3.1.11	Scala delle pendenze (<i>QUADRANTE - 3^a Scala</i>)	29
3.1.12	Quadrato delle ombre (<i>QUADRANTE - 4^a Scala</i>)	29
3.2	IL TESTO DI GALILEO	30

1 STORIA

1.1 STORIA DI UN'INVENZIONE

L'invenzione.

Nel corso del Rinascimento furono molti i tentativi di elaborare uno strumento universale che permettesse di eseguire agilmente calcoli aritmetici e operazioni geometriche. L'esigenza era sentita soprattutto in campo militare dove la tecnologia delle armi da fuoco richiedeva sempre più precise cognizioni matematiche. A queste esigenze rispondono i primi compassi di proporzione messi a punto nella seconda metà del XVI secolo, tra i quali alcuni singolari strumenti noti col nome di "radio latino" o "proteo militare". Il compasso geometrico e militare di Galileo (1564-1642) appartiene a questa categoria di strumenti. Inventato a Padova nel 1597, lo strumento è da mettere in relazione anche all'attività di Galileo in seno all'Accademia Delia, fondata nella città veneta per l'istruzione matematica dei giovani nobili destinati alla carriera militare. Le sette linee proporzionali tracciate sulle gambe del compasso e le quattro scale segnate sul quadrante, consentivano di effettuare con estrema facilità ogni sorta di operazione aritmetica e geometrica: dal calcolo degli interessi all'estrazione delle radici quadrate e cubiche, dal disegno dei poligoni al calcolo di aree e volumi, dalla misura dei calibri al rilevamento del territorio. Tra il 1598 e il 1604, Galileo istruì all'uso del suo compasso alcuni sovrani europei, quali il Principe Giovanni Federico di Alsazia, l'Arciduca Ferdinando d'Austria, il Langravio Filippo di Assia e il Duca di Mantova.

La fortuna dello strumento.

Il successo dello strumento spinse Galileo a divulgare ulteriormente la sua invenzione. Nel 1606 pubblicò 60 copie de *Le operazioni del compasso geometrico e militare*, vendendole privatamente insieme ad altrettanti esemplari dello strumento. La produzione dei compassi, dalla quale Galileo ricavò sostanziosi profitti, fu affidata a un artigiano che lo scienziato ospitò per alcuni anni nella propria abitazione. La pubblicazione del trattato suscitò subito grande interesse, tanto da provocare un'aspra polemica nel mondo accademico sulla paternità dell'invenzione. Già nel 1607 Baldassarre Capra (c. 1580-1626), uno degli studenti di Galileo, tentò di accreditarsi l'invenzione dello strumento negli ambienti più colti, pubblicando un trattato in latino sulle sue operazioni. Altri detrattori di Galileo tentarono di attribuire il primato dell'invenzione al matematico olandese Michel Coignet (1549-1623), e molte furono le varianti dello strumento che, con l'aggiunta di nuove linee proporzionali, ne estesero successivamente i campi di applicazione. Specifici trattati furono scritti da Michel Coignet che lo chiamò "compasso pantometro", da Muzio Oddi (1569-1639) che lo chiamò "compasso polimetro", da Ottavio Revesi Bruti che, dotandolo solo di linee proporzionali per il disegno degli ordini architettonici, lo chiamò "archisesto", da Girard Desargues (1591-1661) e altri matematici francesi che, dotandolo di linee proporzionali per il disegno prospettico, lo chiamarono "compasso ottico o di prospettiva". Numerose varianti furono elaborate per tutto il XVII e XVIII secolo, mentre nel corso del XIX secolo, il compasso di proporzione fu gradualmente sostituito dalla diffusione di raffinatissimi regoli calcolatori che sopravvissero negli studi tecnici degli ingegneri, degli architetti e dei geometri fino al recente avvento del computer.

DIDASCALIE DELLE IMMAGINI DELLO SLIDE SHOW

1. **Galileo Galilei, *Le operazioni del compasso geometrico e militare*, ms. 1606, Firenze, Biblioteca Nazionale, Ms. Gal. 37, Frontespizio.**

Il compasso di Galileo (1564-1642) rappresenta un'invenzione originale e insieme una sintesi dei numerosi tentativi, effettuati nel corso del Rinascimento, di elaborare uno strumento universale, che permettesse di eseguire agilmente calcoli aritmetici e operazioni geometriche.

2. **Regolo pieghevole di Antonio Bianchini (XVI sec.), Firenze, *Istituto e Museo di Storia della Scienza*.**
 Questo regolo pieghevole, costituito da due gambe larghe e piatte graduate, reca incise varie indicazioni, fra cui la scala dei gradi, il quadrato delle ombre, la rosa dei venti, una divisione in parti uguali e un elenco di quarantadue città italiane con le rispettive latitudini. Comprende una bussola con scala dei gradi nel punto di cerniera. Era concepito per misurare gli angoli di posizione e le distanze terrestri e astronomiche.
3. **Tavola raffigurante alcuni militari che misurano con un compasso la canna di un cannone.**
Jim Bennet, Stephen Johnston (a cura di), *The Geometry of War (1500-1750)*, Oxford, 1996, p. 15.
 L'utilizzo di strumenti era indispensabile in ambito militare, dove la tecnologia delle armi da fuoco richiedeva sempre più precise cognizioni matematiche.
4. **Compasso tipo Mordente (1591), Firenze, *Istituto e Museo di Storia della Scienza*.**
 Inventato da Fabrizio Mordente (1532- c. 1608) per misurare la più piccola frazione del grado, questo particolare compasso di proporzione è caratterizzato dalla presenza di cursori scorrevoli con otto punte. La loro posizione permetteva di definire le proporzioni tra linee, figure geometriche e corpi solidi.
5. **Tavola raffigurante il radio latino.**
Latino Orsini, *Trattato del radio latino*, Roma, 1583.
 Il radio latino prende il nome dal condottiero romano Latino Orsini (c. 1530- c. 1580), suo ideatore. Sulle quattro aste snodate a forma di parallelogramma, scorrevoli lungo l'asta centrale, sono tracciate varie scale di misura, come il quadrato delle ombre e la scala dei gradi. Era utilizzato per misurare le distanze, le altezze e le profondità, mediante operazioni di traguardo.
6. **Tavola raffigurante il proteo militare.**
Bartolomeo Romano, *Proteo militare*, Napoli, 1595.
 Di forma simile ad un pugnale, il "proteo militare" riuniva in un unico strumento una vasta gamma di funzioni, dall'osservazione al calcolo. Come attesta il nome e la forma a pugnale, lo strumento fu ideato per essere utilizzato soprattutto in ambito militare.
7. **Ritratto di Galileo Galilei.**
Anonimo toscano, *Galileo Galilei*, Vienna, *Kunsthistorisches Museum*.
 L'invenzione del compasso è da mettere in relazione con l'attività didattica di Galileo (1564-1642), sia pubblica che privata. Importante è la sua partecipazione ai programmi didattici dell'Accademia Delia, una nuova istituzione nata a Padova per la formazione dei giovani nobili destinati alla carriera militare.
8. **Tavola raffigurante due artiglieri, istruiti da un terzo, alle prese con la misurazione del calibro dei cannoni.**
Jim Bennet, Stephen Johnston (a cura di), *The Geometry of War (1500-1750)*, Oxford, 1996, p. 14.
 L'Accademia Delia, con cui Galileo ebbe contatti durante il suo soggiorno a Padova, concentrava le proprie attività non solo nell'equitazione e nell'addestramento alle armi ma anche nell'insegnamento della matematica.
9. **Compasso geometrico e militare di Galileo Galilei (c. 1606), Firenze, *Istituto e Museo di Storia della Scienza*.**
 L'*Istituto e Museo di Storia della Scienza* di Firenze conserva uno dei pochissimi esemplari pervenutici del compasso di Galileo, probabilmente quello donato dallo scienziato pisano a

Cosimo II insieme alla stampa delle *Operazioni del compasso geometrico et militare*.

- 10. Incisione raffigurante una carta geografica dell'Europa (1569).**
Gerardo Mercatore, Rotterdam, *Maritiem Museum Pris Hendrik*.
Tra il 1598 e il 1604 Galileo (1564-1642) istruì all'uso del suo compasso alcuni sovrani europei, fra cui il Principe Giovanni Federico di Alsazia, l'Arciduca Ferdinando d'Austria, il Langravio Filippo di Assia e il Duca di Mantova, come dichiara egli stesso nel Proemio ai Lettori delle *Operazioni del compasso geometrico e militare*.
- 11. Galileo Galilei, *Le Operazioni del compasso geometrico e militare*, Padova, 1606, Frontespizio.**
Nel 1606, in seguito al successo dello strumento, Galileo (1564-1642) pubblicò 60 copie de *Le operazioni del compasso geometrico e militare*, vendendole privatamente insieme allo strumento. Dedicato al principe Cosimo de' Medici (1590-1621), futuro Granduca di Toscana (dal 1609 al 1621), il testo illustra nel dettaglio l'uso dello strumento e le operazioni che con esso si possono eseguire. Tace, invece, sulla costruzione delle scale, forse per proteggere la sua invenzione da possibili concorrenti.
- 12. Incisione raffigurante un costruttore di compassi nella sua bottega (1568)**
Maya Hambly, *Drawing Instruments (1580-1980)*, Londra, 1988, p. 21.
Il 5 luglio 1599 il meccanico Marc'Antonio Mazzoleni andò ad abitare presso l'abitazione di Galileo (1564-1642) per occuparsi della costruzione degli strumenti matematici da lui ideati, fra cui, appunto, il *compasso geometrico e militare*.
- 13. Baldassarre Capra, *Usus et fabrica circini cuiusdam proportionis*, Bologna, 1655, Frontespizio.**
Nel 1607 Baldassarre Capra (c. 1580-1626), uno studente di Galileo (1564-1642), tentò di accreditarsi l'invenzione del compasso, pubblicando un trattato in latino sulle sue operazioni, intitolato *Usus et fabrica circini cuiusdam proportionis* [Uso e costruzione del compasso di proporzione]. Il 9 aprile Galileo denunciò il plagio operato ai suoi danni dal volume del Capra. Al processo, conclusosi con la condanna del Capra, Galileo fece seguire la pubblicazione della *Difesa contro alle calunnie et imposture di Baldessar Capra*.
- 14. Disegno raffigurante il compasso di Baldassarre Capra.**
Baldassarre Capra, *Usus et fabrica circini cuiusdam proportionis*, Padova, 1607.
Il compasso di Baldassarre Capra (c. 1580-1626), come quello di Galileo (1564-1642), presenta sulle gambe piatte alcune linee proporzionali convergenti al centro dello snodo.
- 15. Il compasso "pantometro" di Michel Coignet.**
Michel Coignet, *Usus duodecim divisionem regulae pantometrae*, ms., 1610-1613, Firenze, Bibl. Riccardiana, 859.
Nel 1610, in occasione della polemica antigalileiana sull'origine del cannocchiale, Giovanni Camillo Gloriosi attribuì al matematico e ingegnere militare fiammingo Michel Coignet (1549-1623) l'invenzione di questo strumento. A lui si deve il compasso "pantometro", formato da due compassi a gambe piatte che portavano su ogni faccia tre scale proporzionali e destinato alla risoluzione di problemi matematici, geometrici, stereometrici, trigonometrici, gnomonici e cartografici.
- 16. La "regula pantometra" di Michel Coignet.**
Michel Coignet, *De regulae pantometrae fabrica et usu libri septem*, ms., Oxford, Bodleian Library, Canon Misc. 243.
L'invenzione del compasso "pantometro" da parte Coignet (1549-1623) risale probabilmente già al 1596, quando egli propone la "regula pantometra", un compasso di

proporzione a gambe piatte, montato su un treppiede. Illustrato soprattutto come strumento topografico, era dotato di traguardi ottici e di una riga pieghevole con incise alcune scale proporzionali.

17. Muzio Oddi, *Fabbrica et uso del compasso polimetro di Mutio Oddi da Urbino, Milano, 1633, Frontespizio, particolare.*

Discepolo di Guidobaldo del Monte (1545-1607), Muzio Oddi (1569-1639) fornì le prime importanti notizie sulle ricerche dei matematici urbinati che precedettero l'invenzione di Galileo.

18. Tavola raffigurante un disegno dell'archisesto.

Ottavio Revesi Bruti, *Archisesto per formar con facilità li cinque ordini d'architettura, Vicenza, 1627.*

A Ottavio Revesi Bruti si deve un particolare compasso di proporzione, l'archisesto, dotato di linee proporzionali per il disegno degli ordini architettonici.

19. Scatola per strumenti matematici (XVII sec.), Firenze, *Istituto e Museo di Storia della Scienza.*

Questa scatola contiene un set di strumenti matematici risalenti al XVII secolo e provenienti dalle collezioni medicee. L'interno, suddiviso in diciannove scomparti, contiene attualmente tredici pezzi, tutti di ottone: diversi strumenti per disegnare, un paio di coltellini e un compasso di proporzione.

20. Disegno raffigurante un regolo calcolatore che reca incise diverse scale

Peter Nicholson, *Practical Builder, 1837.*

Nel corso del XIX secolo, il compasso di proporzione fu gradualmente sostituito da raffinatissimi regoli calcolatori che sopravvissero per molto tempo negli studi tecnici degli ingegneri, degli architetti e dei geometri fino al recente avvento del computer.

1.2 COMPASSI A CONFRONTO

Sotto la denominazione di compasso si comprende un'ampia gamma di strumenti per il disegno, la misura e il calcolo proporzionale. Oltre ai più comuni compassi per il disegno delle circonferenze, diffusi fin dall'antichità, il Rinascimento ci ha lasciato un gran numero di compassi speciali, contraddistinti da nomi appropriati alle loro specifiche funzioni: compassi ovali per disegnare ellissi; compassi a due punte, detti di divisione o rapportatori, per dividere le linee e riportare le misure; compassi da carteggio, per tracciare le rotte sulle carte nautiche; compassi a punte ricurve, detti di calibro, per misurare le bocche dei cannoni, le palle d'artiglieria e le colonne; compassi a tre punte per riprodurre le carte geografiche; compassi a quattro punte, o di riduzione, per ingrandire e ridurre i disegni, dividere proporzionalmente linee e circonferenze e disegnare i poligoni; compassi a otto punte per misurare le frazioni dei gradi e svolgere calcoli proporzionali; compassi di proporzione per svolgere calcoli aritmetici e geometrici, misurare pesi, pendenze e distanze; e sofisticati compassi topografici dotati di bussola, rosa dei venti e traguardi ottici per eseguire rilievi territoriali e mappe topografiche.

DIDASCALIE DELLE IMMAGINI DELLO SLIDE SHOW

1. Tavola raffigurante svariati tipi di compasso.

Nicolas Bion, *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique, tav. VIII, Parigi, 1709*

Sotto la denominazione di compasso si comprende un'ampia gamma di strumenti per il disegno, la misura e il calcolo proporzionale.

2. **Compasso a due punte (Pompei, I sec. d.C.), Napoli, MAN, inv. 76679**
Questo compasso (*circinus*) è stato rinvenuto a Pompei. Composto da due gambe a sezione piatta, trovava largo impiego nei cantieri edilizi e nelle decorazioni parietali.
3. **Compasso per ellissi di Leonardo da Vinci, ricostruzione (da Benvenuto della Volpaia, *Macchine e strumenti*, Venezia, Biblioteca Nazionale Marciana, It. 5363, c. 18r), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**
Questo compasso, la cui invenzione viene attribuita a Leonardo da Vinci (1452-1519), serviva per disegnare ellissi. La gamba più lunga rappresenta l'asse del cono, mentre quella con lo stilo scorrevole, regolabile sull'archetto graduato, rappresenta la generatrice. Quest'ultima viene fatta ruotare intorno all'asse in modo che lo stilo scorrevole possa tracciare sul foglio (obliquo rispetto all'asse del cono) la figura dell'ellisse.
4. **Compasso di divisione (XVI sec.), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**
Compasso a punte fisse utilizzato nel disegno architettonico e nei cantieri per tracciare circonferenze, disegnare angoli retti e triangoli equilateri, riportare le misure e dividere le linee in parti uguali. Poteva essere semplice o munito di vite micrometrica per una maggiore precisione nell'apertura delle gambe.
5. **Compasso da carteggio nautico (XVII sec.), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**
Grazie alla sua particolare conformazione, questo compasso garantisce un'ottima impugnatura per poter essere aperto o chiuso con una sola mano. Veniva usato per misurare le distanze nelle carte nautiche e tracciare le rotte di navigazione.
6. **Compasso sferico o di calibro (XVII sec.), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**
Formato da due gambe curve terminanti a punta, questo compasso serviva a misurare i diametri dei corpi sferici e cilindrici e l'ampiezza delle cavità. Nella pratica militare era usato per misurare i calibri delle artiglierie e i diametri dei proiettili. In architettura consentiva il rilievo e l'esecuzione delle colonne. Nella pratica scultorea serviva a riportare le misure dal modello sul pezzo in esecuzione. Il compasso sferico era spesso munito di un arco graduato che consentiva di leggere direttamente la misura.
7. **Compasso a tre gambe (XVII sec.), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**
Il compasso a tre gambe, detto anche compasso sferico o da mappamondo, serviva a trasferire su una carta le posizioni dei luoghi rilevate su un globo terrestre o celeste, misurando la distanza di tre punti. Serviva anche a riprodurre un disegno o una carta geografica nella stessa scala.
8. **Compasso di riduzione (XVII sec.), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**
Compasso a gambe incrociate, a centro mobile, le cui punte opposte formano rapporti semplici di 1:2, 1:3 o altro. Lo strumento serviva essenzialmente per riprodurre i disegni in scala ridotta o ingrandita.
9. **Compasso di Mordente (fine XVI sec.), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**
Questo particolare compasso di proporzione, inventato da Fabrizio Mordente (1532 - c. 1608) per misurare la più piccola frazione del grado, è caratterizzato dalla presenza di cursori scorrevoli con otto punte ortogonali all'asse delle gambe. La posizione delle punte, misurata con l'ausilio di una riga munita di scale proporzionali, permetteva di definire le proporzioni tra linee, figure geometriche e corpi solidi.
10. **Compasso di proporzione (XVII sec.), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**
Compasso di proporzione, caratterizzato dalla presenza sulle gambe di varie scale proporzionali che servivano a definire le proporzioni tra linee, figure geometriche, corpi

solidi o altro. Questo particolare tipo di compasso di proporzione a gambe piatte fu perfezionato da Galileo (1564-1642) con il suo compasso geometrico e militare.

11. **Compasso topografico (XVI sec.), Firenze, Istituto e Museo di Storia della Scienza**

Il compasso topografico era formato generalmente da due gambe piatte graduate, munite di traguardi alle estremità e di una bussola con scala dei gradi nel punto di cerniera. Era concepito per misurare gli angoli di posizione e le distanze dei luoghi nei rilevamenti topografici.

1.3 IL GIOCO DEI COMPASSI

1. **Compasso sferico o di calibro - Misurare il diametro di una sfera**

Grazie alle due gambe curve terminanti a punta era possibile, con questo compasso, misurare i diametri dei corpi sferici, come per esempio i diametri dei proiettili.

2. **Compasso per ellissi - Disegnare un'ellissi**

Questo compasso permetteva di disegnare un'ellisse facendo ruotare la gamba con lo stilo scorrevole attorno alla gamba più lunga.

3. **Compasso di divisione - Disegnare una circonferenza**

Questo comune compasso a due punte fisse permetteva di disegnare una circonferenza.

4. **Compasso di riduzione - Riprodurre un disegno in scala**

Questo compasso permetteva di riprodurre un disegno in scala, in questo caso nella scala di 1:3. Il centro del compasso, infatti, è regolato in modo che le punte opposte formino un rapporto di 1:3.

5. **Compasso di Mordente – Misurare le frazioni dei gradi**

Questo compasso perfezionava l'uso degli strumenti astronomici, come il quadrante o l'astrolabio. Posizionate le punte secondo una determinata proporzione, esso permetteva di misurare con estrema precisione ogni minima frazione del grado, come i minuti primi e i minuti secondi.

6. **Compasso a tre gambe – Riprodurre una mappa**

Questo compasso permetteva di riprodurre una carta geografica nella stessa scala, misurando la distanza reciproca di tre punti.

7. **Compasso di proporzione – Svolgere calcoli aritmetici**

Grazie alle scale proporzionali disegnate sulle gambe era possibile calcolare il quarto termine incognito di una proporzione, sfruttando le proprietà dei triangoli simili.

2 ESPLORA

2.1 LO STRUMENTO

INFORMAZIONI E CARATTERISTICHE

Nome dello strumento: **Compasso geometrico e militare**

Ideatore e costruttore: **Galileo Galilei**

Luogo e data dell'invenzione: **Padova, 1597**

Materiale: **Ottone**

Lunghezza: **256 mm**

Larghezza (aperto): **360 mm**

Spessore: **5 mm**

COMPONENTI

Bracci

In ottone, a sezione rettangolare, sono impernati in un disco rotondo, detto *nocella*, e arricchiti da incisioni secondo la moda del tempo. Le estremità inferiori sono abbellite da un piedino lavorato. Sulle facce, *recta* e *versa*, sono incise sette scale proporzionali.

Quadrante

Accessorio che viene fissato, tramite viti, dette *galletti*, ai fori praticati nei bracci del compasso, bloccando l'apertura dello strumento ad un angolo di 90°. Sul *recto* sono incise quattro scale graduate.

Zanca

Cursori che, inseriti in uno dei bracci del compasso, permette di allungare il braccio nel quale è inserito.

Filo a piombo

Viene fissato alla *nocella* quando si usa il compasso come archipenzolo.

Galletti

Queste viti, dette *galletti*, servono a fissare il *quadrante* ai bracci del compasso.

LINEE

Costruzione e funzione delle linee aritmetiche

Le linee aritmetiche sono scale proporzionali divise in 250 parti uguali. Servono a svolgere addizioni, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni.

Costruzione e funzione delle linee geometriche

Le linee geometriche sono scale proporzionali che indicano i lati di quadrati aventi rispettivamente superficie 1, 2, 3, fino a superficie 50. Per questo motivo le distanze dei punti 1, 2, 3, fino a 50 dal centro del compasso equivalgono rispettivamente a 1, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, fino a $\sqrt{50}$. Queste linee servono a svolgere operazioni geometriche sulle figure piane e ad estrarre la radice quadrata.

Costruzione e funzione delle linee stereometriche

Le linee stereometriche sono scale proporzionali che indicano i lati di cubi aventi rispettivamente volume 1, 2, 3, fino a volume 140. Per questo motivo le distanze dei punti 1, 2, 3, fino a 140 dal centro del compasso equivalgono rispettivamente a 1, $\sqrt[3]{2}$, $\sqrt[3]{3}$, fino a $\sqrt[3]{140}$. Queste linee servono a svolgere operazioni geometriche su corpi regolari e a compiere estrazioni di radice cubica.

Costruzione e funzione delle linee metalliche

Le linee dei metalli sono scale proporzionali che indicano i diametri di sfere di diversi materiali aventi lo stesso peso. I metalli, indicati per peso specifico in ordine decrescente, sono l'oro, il piombo, l'argento, il rame, il ferro, lo stagno, il marmo e la pietra. Queste linee erano utilizzate dagli artiglieri per calcolare il calibro dei proiettili.

Costruzione e funzione delle linee poligrafiche

Le linee poligrafiche sono scale proporzionali che indicano i raggi dei cerchi circoscritti ai poligoni regolari aventi lo stesso lato, dal triangolo al poligono di 15 lati. Nel caso dell'esagono raggio e lato sono uguali. Perciò la distanza individuata dal punto 6 equivale anche al lato di tutti gli altri poligoni. Queste linee servono a disegnare i poligoni regolari e a dividere un cerchio in parti uguali.

Costruzione e funzione delle linee tetragoniche

Le linee tetragoniche, sono scale proporzionali che indicano i lati dei poligoni regolari aventi la stessa area, dal triangolo al poligono di 13 lati. Servono a trovare l'area dei poligoni regolari.

Costruzione e funzione delle linee aggiunte

Le linee aggiunte sono due scale proporzionali tracciate sulla stessa linea. La scala esterna, divisa in 20 parti uguali, mostra le frecce di 20 settori circolari aventi la stessa corda. Quella interna mostra invece i lati di 20 quadrati aventi aree uguali ai rispettivi settori circolari. Le linee aggiunte servono a trovare l'area dei settori circolari.

Costruzione e funzione della squadra da bombardieri

La prima scala del quadrante è la cosiddetta squadra dei bombardieri, una scala divisa in 12 parti uguali che serviva a misurare l'alzo dei cannoni.

Costruzione e funzione del quadrante astronomico

La seconda scala del quadrante è il quadrante astronomico, una scala divisa in 90 parti uguali che serviva a misurare l'altezza degli astri sull'orizzonte.

Costruzione e funzione della scala delle pendenze

La terza scala del quadrante è il quadrante delle pendenze, che segna l'inclinazione delle muraglie da un rapporto di uno a uno virgola cinque tra altezza e scarpa, a un rapporto di uno a dieci.

Costruzione e funzione del quadrato delle ombre

La quarta scala del quadrante è il quadrato delle ombre, una scala divisa in 200 parti disuguali ottenute proiettando sull'arco di cerchio le divisioni in parti uguali dei lati di un quadrato circoscritto. Questa scala serve a misurare le distanze inaccessibili.

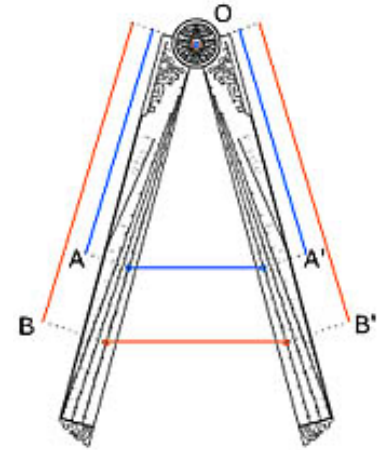
2.2 COME FUNZIONA

Tutti gli usi del compasso (ad eccezione di quando lo si impiega come squadra o quadrante) derivano dalla possibilità di trovare con esso grandezze proporzionali a grandezze assegnate, siano esse linee, aree o volumi.

Dunque, l'operazione base di questo strumento, come di esemplari simili, è la *proporzione*, riconducibile all'espressione $a:b = c:x$, dove a , b , c , sono grandezze note mentre x è ignota.

Aperto, infatti, il compasso ad un angolo qualsiasi, le distanze trasversali fra coppie di punti corrispondenti stanno fra loro come le distanze fra quei punti e l'origine.

$$AA':BB'=OA:OB=OA':OB'$$

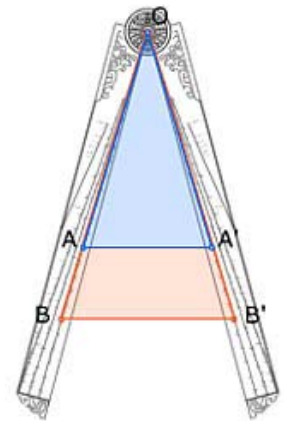


Perché questi segmenti sono in *proporzione*?

Immaginiamoli come lati dei triangoli isosceli OAA' e OBB' . Questi triangoli sono simili, in quanto hanno i tre angoli rispettivamente uguali:

$$\hat{A} = \hat{B} = \hat{A}' = \hat{B}' \quad \hat{O} \text{ in comune}$$

In base al **teorema di Talete** sulla proporzionalità dei triangoli simili, due triangoli di diverse dimensioni che abbiano gli angoli rispettivamente uguali, hanno i lati rispettivamente proporzionali.



3 SIMULA

3.1 LE OPERAZIONI

Il compasso di Galileo è simile ad un calcolatore. Ne *Le operazioni del compasso geometrico e militare* (Padova, 1606), Galileo descrive più di 40 operazioni eseguibili con il suo strumento.

3.1.1 Divisione di un segmento (*RECTO - Linee aritmetiche*)

Introduzione

Le linee aritmetiche permettono di dividere un segmento in un numero qualsiasi di parti uguali.

Per questo motivo il compasso di Galileo poteva essere impiegato nel disegno geometrico e architettonico, nella costruzione delle scale graduate degli strumenti di misura e in applicazioni simili.

Esempio

Proviamo a dividere un segmento in 5 parti uguali.

Individuiamo sulle linee aritmetiche due numeri che stanno fra loro in un rapporto di 5 a 1, ad esempio 100 e 20.

Quindi, apriamo il compasso in modo da riportare la misura del segmento fra la coppia di punti 100. Mantenendo questa apertura, la distanza fra i punti 20 corrisponderà alla quinta parte del segmento dato. Riportando per 5 volte questa misura sul segmento, se ne ottiene la divisione esatta in 5 parti uguali.

Otteniamo lo stesso risultato scegliendo altre coppie di numeri, purché fra loro vi sia un rapporto di 5:1, come per esempio: 150-30, 210-42.

Prova tu!

ISTRUZIONI

Dividi tu il segmento in 8 parti uguali! Rispondi alle domande che ti verranno poste in modo da guidare correttamente l'operazione.

Buona fortuna!

Domanda 1. Dovendo dividere il segmento in otto parti, quale coppia di numeri sulla linea aritmetica decidi di usare?

1. 100-20.
2. 240-30.
3. 16-71.

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Perché 20 non è l'ottava parte di 100!
2. **Esatto!** Perché 30 è l'ottava parte di 240!
3. **Sbagliato!** Perché 16 non è l'ottava parte di 71!

Domanda 2. Come procedi adesso?

1. **Misuri la linea con il compasso rapportatore.**
2. **Imposti i due compassi con la stessa apertura.**

3. Misuri la distanza fra i punti 30 e 240 delle linee aritmetiche del compasso di Galileo.

Soluzioni:

1. **Esatto!** Nelle operazioni con il compasso di Galileo è necessario l'ausilio di un normale compasso rapportatore a due punte, con il quale si possono prendere le lunghezze dei segmenti che figurano nel problema, per riportarle sulle scale stesse!
2. **Sbagliato!** La prima cosa da fare è misurare la lunghezza della linea. E poi impostare i compassi alla stessa apertura non serve!
3. **Sbagliato!** Per dividere la linea non è necessario conoscere questa distanza!

Domanda 3. Adesso devi impostare la giusta apertura sul compasso di Galileo. Come fai?

1. **Riporti la misura della linea fra i punti 240 delle due linee aritmetiche**
2. **Riporti la misura della linea fra i punti 30 delle due linee aritmetiche**
3. **Casualmente**

Soluzioni:

4. **Esatto!** In questo modo hai individuato un triangolo isoscele la cui base misura quanto la linea, mentre i due lati uguali misurano 240!
5. **Sbagliato!** Perché devi costruire un triangolo isoscele i cui due lati uguali misurano 240 e non 30!
6. **Sbagliato!** L'apertura del compasso deve essere regolata in base alla misura della linea!

Domanda 4. Come individui l'ottava parte della linea?

1. **Misuri la distanza fra i punti 80 delle due linee aritmetiche**
2. **Misuri la distanza fra i punti 240 delle due linee aritmetiche**
3. **Misurando la distanza fra i punti 30 delle due linee aritmetiche**

Soluzioni:

7. **Sbagliato!** In questo modo otterresti non l'ottava, ma la terza parte della linea!
8. **Sbagliato!** Questa distanza rappresenta la misura stessa della linea!
9. **Esatto!** Poiché 30 è l'ottava parte di 240 e anche la distanza fra i punti 30 è l'ottava parte della distanza fra i punti 240!

I tuoi passi

Hai individuato 240 e 30 sulle linee aritmetiche.
Hai preso la misura del segmento da dividere.
Hai riportato la misura del segmento fra i punti 240.
Hai misurato la distanza fra i punti 30.

Complimenti! Sei riuscito a dividere il segmento in 8 parti uguali con il compasso di Galileo!

3.1.2 Cambio delle monete (*RECTO - Linee aritmetiche*)

Introduzione

L'Italia del '600 era un insieme di tanti stati indipendenti, in ognuno dei quali vigeva uno specifico sistema monetario. Il cambio delle monete era quindi un problema quotidiano per mercanti, banchieri o semplici viaggiatori.

Spesso erano necessari laboriosi calcoli proporzionali che il compasso di Galileo permetteva di compiere con poche e semplici operazioni, trasformandosi in un vero "convertitore di monete".

Esempio

Ammettiamo di voler convertire 186 scudi d'oro in ducati veneziani. L'unica informazione preliminare necessaria, se non conosciamo il rapporto diretto fra le due monete, è il loro valore di cambio in una terza valuta, ad esempio in soldi.

Sapendo che lo scudo vale 160 soldi e il ducato ne vale 124, si predispose il compasso in base a questi valori. Si misura cioè sulla linea aritmetica il valore degli scudi, ossia 160, e lo si riporta trasversalmente tra la coppia di punti 124, che indicano il valore dei ducati.

Lasciando il compasso con questa apertura, si procede alla risoluzione del problema proposto. Per cambiare 186 scudi d'oro si prende la distanza trasversale tra la coppia di punti 186 e la si riporta sulla linea aritmetica, ottenendo 240 che è il corrispondente valore dei ducati.

Allo stesso modo è possibile convertire qualsiasi altra quantità di scudi d'oro in ducati veneziani.

Prova tu!

ISTRUZIONI

Adesso prova tu a fare il cambio! Dei 240 ducati che avevamo, ne abbiamo spesi 85 e ce ne sono, quindi, avanzati 155. Quanto denaro in scudi ci resta?

Per trovare la soluzione, rispondi alle domande che ti verranno poste.

Buona fortuna!

Domanda 1. Per prima cosa apri il compasso così da riprodurre la proporzione fra le due monete. Come fai?

- 1. Lo apri in modo che la distanza fra la coppia di punti 124 (il valore in soldi del ducato) misuri 160 (il valore in soldi dello scudo).**
- 2. Lo apri in modo che la distanza fra la coppia di punti 160 (il valore in soldi dello scudo) misuri 124 (il valore in soldi del ducato).**
- 3. Lo apri casualmente e misuri il valore in soldi sia del ducato che dello scudo sulla scala delle linee aritmetiche.**

Soluzioni:

- 1. Sbagliato!** Questa impostazione permette il cambio da scudi a ducati mentre tu devi convertire i ducati in scudi!
- 2. Esatto!** Questa apertura del compasso riproduce la proporzione fra scudi e ducati!
- 3. Sbagliato!** La corretta apertura del compasso è necessaria per stabilire la proporzione fra scudi e ducati!

Domanda 2. Aperto correttamente il compasso, dove misuri 155, il valore dei ducati da convertire?

1. Sulla scala delle linee aritmetiche.
2. Misuri 155 sulla scala delle linee aritmetiche e riporti questa lunghezza trasversalmente.
3. Sulla scala delle linee geometriche.

Soluzioni:

1. **Esatto!** Il valore della moneta da convertire va riportato sulla scala delle linee aritmetiche!
2. **Sbagliato!** In questo modo 155 sarebbero scudi e non ducati!
3. **Sbagliato!** L'operazione del cambio delle monete utilizza le linee aritmetiche e non quelle geometriche!

Domanda 3. Per finire, come ottieni il valore dello scudo?

1. Prendi la distanza trasversale fra i punti 155 e la misuri sulla scala delle linee aritmetiche.
2. Misuri il segmento individuato sulla scala delle linee aritmetiche, riportando trasversalmente la misura 155.
3. Prendi la distanza trasversale fra i punti 155 e la misuri sulla scala delle linee geometriche.

Soluzioni:

1. **Esatto!** In questo modo hai individuato approssimativamente il numero 120, cioè il valore in scudi di 155 ducati!
2. **Sbagliato!** Così si otterrebbe la conversione di 155 scudi in ducati!
3. **Sbagliato!** Questa operazione utilizza le linee aritmetiche e non quelle geometriche!

I tuoi passi

Hai aperto il compasso, riproducendo la proporzione fra ducato e scudo.
Hai misurato il valore dei ducati da convertire sulle linee aritmetiche.
Hai trovato trasversalmente il corrispondente valore dello scudo.

Complimenti! Sei riuscito a fare il cambio delle monete con il compasso di Galileo.

3.1.3 Ordinamento degli esercizi (*RECTO - Linee geometriche*)

Introduzione

Il forte sviluppo della scienza militare del tempo, che richiedeva sempre maggiori competenze matematiche, costituì per Galileo uno dei più efficaci stimoli al perfezionamento del compasso.

Molte delle operazioni risolvibili in modo semplice con il compasso di Galileo, infatti, potevano essere applicate a comuni problemi militari. L'estrazione della radice quadrata, per esempio, poteva servire a risolvere il problema di schierare un esercito in figura quadrata.

Esempio

Dato il numero complessivo di soldati, per esempio 3136, poche semplici azioni con il compasso permettevano di estrarne la radice quadrata. Il numero ottenuto indicava quanti soldati dovessero essere disposti su ciascun lato dello schieramento, in modo da formare un quadrato compatto e impenetrabile.

Per prima cosa si predispose il compasso per l'estrazione della radice quadrata. Consideriamo un numero di 4 cifre di cui conosciamo la radice quadrata, per esempio 1600, la cui radice quadrata è 40. Dal momento che sulla linea geometrica sono indicati i numeri quadrati, ossia le aree, il numero 1600 va preso su questa linea. Trattandosi però di un numero troppo grande, dobbiamo considerare un suo sottomultiplo, ad esempio la sua centesima parte, ossia 16. Misuriamo quindi 40 sulla linea aritmetica e riportiamo quel segmento tra i punti 16 delle linee geometriche.

Lasciando il compasso con questa apertura, possiamo ora calcolare la radice quadrata di 3136. Consideriamo la sua centesima parte, ossia 31,36, e prendiamo solo il numero intero 31, come per 1600 avevamo preso 16. Misuriamo ora la distanza trasversale fra i punti 31 delle linee geometriche e riportiamola sulla scala aritmetica. Il risultato, 56, è la radice quadrata di 3136, cioè il numero di soldati da disporre su ciascun lato dello schieramento.

Proviamo con altri esempi. Estraiamo la radice quadrata di 3600 e 2209. Puoi verificare l'esattezza del risultato facendo il calcolo con la calcolatrice del tuo computer.

Prova tu!

ISTRUZIONI

Il nostro esercito ha purtroppo perduto ben 1615 soldati durante la battaglia. I soldati che restano, cioè 1521, vanno ricompattati senza perdere tempo. Prendi il compasso e prova a dare una mano!

Per trovare la soluzione, rispondi alle domande che ti verranno poste.

Buona fortuna!

Domanda 1 . Il numero di soldati da schierare su ciascun lato si ottiene estraendo la radice quadrata di 1520. Quale coppia di numeri decidi di usare per impostare l'apertura del compasso?

- 1. 2525 – 50.**
- 2. 1600 – 44.**
- 3. 2500 – 50.**

Soluzioni:

- 1. Sbagliato!** Perché 50 non è la radice quadrata di 2525!
- 2. Sbagliato!** Perché 44 non è la radice quadrata di 1600!
- 3. Esatto!** Perché 50 è la radice quadrata di 2500. L'apertura del compasso va infatti impostata utilizzando un numero a 4 cifre e la sua radice quadrata, che deve essere nota!

Domanda 2. Poiché 2500 è un numero troppo grande, lo dividiamo per 100, ottenendo 25. Come utilizzi 25 e 50 per impostare il compasso?

1. **Misuri 50 sulle linee geometriche e riporti questa distanza fra i punti 25 delle linee geometriche.**
2. **Misuri 50 sulle linee aritmetiche e riporti questa distanza fra i punti 25 delle linee geometriche.**
3. **Misuri 50 sulle linee geometriche e riporti questa distanza fra i punti 25 delle linee aritmetiche.**

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Nelle linee geometriche sono indicati i numeri quadrati, cioè le aree, mentre 50 rappresenta un numero semplice!
2. **Esatto!** Sulle linee geometriche sono, infatti, rappresentati i numeri quadrati, cioè le aree, mentre su quelle aritmetiche i numeri semplici. Questa apertura imposta, quindi, il giusto rapporto fra di essi!
3. **Sbagliato!** Nelle linee geometriche sono indicati i numeri quadrati mentre in quelle aritmetiche i numeri semplici!

Domanda 3. Stabilisci questa apertura, come individui la radice quadrata di 1521? (Fai attenzione! Anche in questo caso è necessario dividere 1521 per 100 e utilizzare 15 nell'operazione).

1. **Prendi la distanza trasversale fra i punti 15 delle linee geometriche e la riporti sulle linee aritmetiche.**
2. **Prendi la distanza trasversale fra i punti 15 delle linee aritmetiche e la riporti sulle linee geometriche.**
3. **Prendi la distanza trasversale fra i punti 15 delle linee geometriche e la riporti sempre sulle linee geometriche.**

Soluzioni:

1. **Esatto!** Hai individuato la radice quadrata di 1521, cioè 39, che è il numero di soldati da disporre su ciascun lato dello schieramento!
2. **Sbagliato!** Nelle linee aritmetiche sono rappresentati i numeri semplici mentre 15 rappresenta, qui, un numero quadrato!
3. **Sbagliato!** Nelle linee geometriche sono rappresentati i numeri quadrati mentre noi cerchiamo un numero semplice!

I tuoi passi

Hai scelto i numeri 2500 e 50 per impostare il compasso.
Hai aperto il compasso, riproducendo il rapporto di radice quadrata.
Hai individuato la radice quadrata di 1520.

Complimenti! Sei riuscito a trovare la radice quadrata di 1521 con il compasso di Galileo!

3.1.4 Somma dei volumi (*RECTO - Linee stereometriche*)

Introduzione

Le linee stereometriche sono scale proporzionali che permettono di risolvere i problemi dei corpi solidi, come ad esempio la somma dei volumi.

Sul piano pratico questa operazione interessava, ad esempio, i mercanti di grano, oppure gli scalpellini, o i costruttori di mura e fortificazioni.

Esempio

Immaginiamo di avere tre solidi simili, ad esempio tre cubi, e di voler costruire un quarto cubo con volume equivalente alla somma dei volumi dati.

Il compasso non misura *direttamente* i volumi. Prendiamo perciò il lato del cubo maggiore e apriamo il compasso in modo da riportare questa misura trasversalmente tra due punti qualsiasi delle linee stereometriche, ad esempio tra la coppia di punti 30.

Lasciando il compasso con questa apertura, misuriamo i lati degli altri due cubi e riportiamoli trasversalmente sulle linee stereometriche. Vediamo che si adattano tra la coppia di punti 12 e la coppia di punti 6.

Sommando questi numeri – 30, 12 e 6 – otteniamo 48. La distanza fra la coppia di punti 48 è il lato del volume cercato.

Infatti, poiché le scale stereometriche riproducono la proporzionalità fra i volumi attraverso la lunghezza dei rispettivi lati, la somma effettuata è una somma di volumi.

Se adattiamo le misure dei tre lati ad altre coppie di numeri, otteniamo lo stesso risultato. Proviamo! Apriamo il compasso in modo da riportare il lato del cubo maggiore fra i punti 25. Con questa apertura, i lati degli altri due cubi si adatteranno fra la coppia di punti 10 e quella di punti 5. Facendo la somma dei numeri trovati, otteniamo 40.

Possiamo notare che la distanza fra la coppia di punti 40 è equivalente alla misura trovata in precedenza, perché il rapporto fra i numeri utilizzati è sempre lo stesso:

$$30 : 12 : 6 : 48 = 25 : 10 : 5 : 40 = 5 : 2 : 1 : 8$$

Prova tu!

ISTRUZIONI

Prova a sommare i volumi di 3 sfere!

Rispondi alle domande che ti verranno poste in modo da guidare correttamente l'operazione!

Buona fortuna!

Domanda 1 . Cosa misuriamo per prima cosa?

1. Il volume di ciascuna sfera.

2. **La circonferenza del cerchio massimo di ciascuna sfera.**
3. **Misure lineari corrispondenti, ad esempio il diametro delle 3 sfere.**

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Il compasso di Galileo non permette di lavorare direttamente sui volumi. Occorre utilizzare delle misure lineari!
2. **Sbagliato!** Con gli strumenti che abbiamo è impossibile prendere questa misura!
3. **Esatto!** Poiché l'operazione da fare è una proporzione fra grandezze, il risultato sarà corretto solo se prendiamo grandezze corrispondenti!

Domanda 2 . Dove riportiamo le misure dei tre diametri?

1. **Trasversalmente fra coppie di numeri corrispondenti delle linee aritmetiche.**
2. **Trasversalmente fra coppie di numeri corrispondenti delle linee stereometriche.**
3. **Trasversalmente fra coppie di numeri corrispondenti delle linee geometriche.**

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Perché le linee aritmetiche sono scale che riproducono la proporzionalità fra linee e non fra volumi!
2. **Esatto!** Le linee stereometriche riproducono infatti la proporzionalità fra volumi. Questa apertura del compasso riproduce, perciò, la proporzionalità fra le tre sfere e le altre, il cui diametro si adatta fra le linee stereometriche del compasso così aperto!
3. **Sbagliato!** Perché le linee geometriche sono scale che riproducono la proporzionalità fra superfici e non fra volumi!

Domanda 3 . Come individuiamo adesso il diametro della sfera cercata?

1. **Corrisponde alla distanza trasversale fra la coppia di punti 80 delle linee stereometriche ($80=18+20+42$).**
2. **Corrisponde al segmento equivalente alla somma dei 3 diametri.**
3. **Corrisponde alla distanza fra il centro del compasso e il numero 80 delle linee stereometriche ($80=18+20+42$).**

Soluzioni:

4. **Esatto!** Poiché le linee stereometriche riproducono la proporzionalità fra i volumi, attraverso la lunghezza, in questo caso, dei rispettivi diametri, la somma 80 corrisponde ad una somma fra volumi!
5. **Sbagliato!** La somma che cerchiamo è quella dei volumi e non dei diametri. In questo modo otterremmo una sfera con volume molto più grande di quello cercato!
6. **Sbagliato!** In questo modo otterremmo il diametro della sfera equivalente alla somma delle sfere costruite sulle distanze 18, 20, 42 delle linee stereometriche, non di quelle costruite sulle distanze trasversali, com'è nel nostro caso!

I tuoi passi

Hai preso la misura dei diametri delle 3 sfere.
Hai riportato i tre diametri trasversalmente sulle linee stereometriche.
Hai trovato il diametro della sfera con volume equivalente alla somma dei tre volumi dati.

Complimenti! Sei riuscito a effettuare la somma dei volumi delle 3 sfere con il compasso di Galileo!

3.1.5 Misura dei calibri (*RECTO - Linee metalliche*)

Introduzione

Al tempo di Galileo, l'artiglieria usava indifferentemente proiettili di piombo, di pietra, di ferro e di altri materiali. A parità di calibro (cioè di diametro), palle di materiale diverso hanno peso diverso.

Per uniformare i tiri, quindi, il cannoniere doveva regolare la carica esplosiva in relazione alla palla utilizzata. Maggiore era il peso specifico della palla, maggiore doveva essere, in proporzione, la quantità di carica utilizzata.

Il compasso di Galileo poteva essere usato come calibro da bombardieri, in quanto metteva in rapporto peso e volume di materiali diversi, grazie all'utilizzo combinato delle linee metalliche con quelle stereometriche.

Esempio

Ammettiamo di dover sparare su una fortificazione che dista 750 metri. L'artigliere calibra la carica esplosiva sulle palle di pietra e inizia a sparare.

Poiché le palle di pietra non risultano efficaci, l'artigliere prende quelle di piombo, evidentemente di peso specifico maggiore rispetto alla pietra. Ma di quanto maggiore? È necessario saperlo per poter variare la carica esplosiva in modo che il tiro sia calibrato nel modo giusto.

Per prima cosa prendiamo il diametro della palla di pietra e riportiamolo trasversalmente fra i punti indicanti *Pie* delle linee metalliche. Con questa apertura prendiamo la distanza fra i punti *Pio* relativi a palle di piombo. Otteniamo, così, il diametro di una palla di piombo dello stesso peso della nostra di pietra.

Grazie a questa equivalenza, possiamo adesso confrontare il peso delle nostre due palle utilizzando le linee stereometriche. Riportiamo il diametro della palla di piombo trovata, equivalente in peso a quella di pietra, fra due punti qualsiasi delle linee stereometriche, ad esempio fra i punti 10. Prendiamo, quindi, il diametro della nostra palla di piombo e vediamo dove si adatta sulle linee stereometriche, cioè fra i punti 65.

Da ciò otteniamo che anche il rapporto fra i loro pesi è di 10 a 65, e, quindi, la nostra palla di piombo è 6 volte e mezzo più pesa di quella di pietra. Grazie a questo risultato, l'artigliere potrà regolare la carica esplosiva in modo da sparare le palle di piombo con lo stesso tiro di quelle di pietra.

Prova tu!

ISTRUZIONI

Le palle di piombo sono terminate! Il cannoniere deve usare palle di ferro dello stesso calibro, ma di peso diverso! Prova a calcolare il rapporto fra i pesi delle due palle, in modo da regolare la carica esplosiva!

Rispondi alle domande che ti verranno poste in modo da guidare correttamente l'operazione!

Buona fortuna!

Domanda 1. Per prima cosa imposti il compasso per questa operazione. In che modo?

1. **Lo apri in modo da riportare il diametro della palla di piombo fra una coppia di punti qualsiasi delle linee stereometriche.**
2. **Lo apri in modo da riportare il diametro della palla di piombo fra i punti *Pio* delle linee metalliche.**
3. **Trasversalmente fra i punti segnati *Pie* delle linee metalliche.**

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Non è ancora il momento di usare le linee stereometriche!
2. **Esatto!** Questa apertura ti permetterà di trovare il diametro di palle di materiale diverso, ma di uguale peso rispetto alla nostra palla di piombo!
3. **Sbagliato!** Qui non ci interessano le palle di pietra!

Domanda 2. Questa apertura ti permette di poter individuare il diametro della palla di ferro equivalente in peso alla nostra di piombo. Come?

1. **Prendi la distanza trasversale fra i punti *Fe* delle linee metalliche.**
2. **Prendi la distanza trasversale fra i punti *Pie*.**
3. **Prendi la distanza fra il perno del compasso e il punto *Fe*.**

Soluzioni:

1. **Esatto!** In questo modo hai trovato l'equivalente in ferro della nostra palla di piombo e puoi quindi procedere a confrontarne i pesi!
2. **Sbagliato!** Questa distanza corrisponde al diametro di una palla dello stesso peso di quella di piombo, ma di pietra, non di ferro!
3. **Sbagliato!** Questa distanza corrisponde al diametro della palla di ferro di riferimento in base al quale sono state costruite le linee metalliche, e non quello della nostra palla!

Domanda 3. Utilizzando le linee stereometriche, confronta, ora, il peso della nostra palla di ferro con quello dell'altra individuata nel punto precedente, equivalente in peso a quella di piombo. Come?

1. **Riporti le misure dei due diametri trasversalmente sulle linee aritmetiche, verificando fra quali numeri si adattano.**
2. **Riporti le misure dei due diametri trasversalmente sulle linee geometriche, verificando fra quali numeri si adattano.**
3. **Riporti le misure dei due diametri trasversalmente sulle linee stereometriche, verificando fra quali numeri si adattano.**

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Le linee aritmetiche possono confrontare misure *lineari*, mentre, qui, le linee rappresentano *volumi*!
2. **Sbagliato!** Le linee geometriche possono confrontare misure *quadrate*, mentre, qui, le linee rappresentano *volumi*!
3. **Esatto!** Il rapporto fra i numeri trovati (cioè fra i diametri) equivale al rapporto fra i loro volumi e, quindi, fra i loro pesi, necessario per regolare la carica esplosiva!

I tuoi passi

Hai aperto il compasso riportando il diametro della palla di piombo fra i punti <i>Pio</i> delle linee metalliche.
Hai trovato il diametro dell'equivalente in ferro della palla di piombo.
Hai trovato il rapporto fra il peso della palla di piombo e quella di ferro.

Complimenti! Sei riuscito a trovare il rapporto fra il peso di una palla di piombo e quello di una di ferro aventi uguale diametro! Con questo rapporto puoi regolare la carica esplosiva.

3.1.6 Divisione della circonferenza (*VERSO - Linee Poligrafiche*)

Introduzione

Le linee poligrafiche permettono di dividere una circonferenza in un numero qualsiasi di parti uguali.

Oltre che nel disegno di poligoni regolari, questa operazione risultava particolarmente utile nella costruzione delle scale graduate degli strumenti di misura a forma circolare, come gli astrolabi e gli orologi notturni.

Esempio

Proviamo a dividere una circonferenza in 10 parti uguali. Questa operazione equivale a disegnare un decagono regolare all'interno della circonferenza.

Prendiamo la misura del raggio della circonferenza. Apriamo, quindi, il compasso in modo da riportarla trasversalmente, fra la coppia di punti 10 delle linee poligrafiche (10 come il numero di lati del decagono regolare cercato).

Con questa apertura, per la particolare costruzione delle linee poligrafiche, le distanze fra le altre coppie di punti delle linee poligrafiche – ad esempio 8.8, 6.6, 3.3 etc. – saranno i raggi dei cerchi circoscritti ai poligoni regolari (in questo caso l'ottagono, l'esagono e il triangolo) aventi lo stesso lato.

Visto che, fra tutti i poligoni regolari, solo nell'esagono il lato è uguale al raggio del cerchio circoscritto, la distanza fra la coppia di punti 6 sarà, non solo il lato dell'esagono inscritto al cerchio, ma anche il lato del decagono cercato.

Prova tu!

ISTRUZIONI!

Adesso prova tu con un orologio notturno. Dividi il cerchio dello zodiaco in 12 parti uguali, corrispondenti ai 12 segni zodiacali.

Per trovare la soluzione, rispondi alle domande che ti verranno poste.

Buona fortuna!

Domanda 1. Cosa fai per prima cosa?

1. Prendi la misura del raggio dello strumento.

2. **Prendi la misura della circonferenza del cerchio dello zodiaco.**
3. **Prendi la misura del raggio del cerchio dello zodiaco..**

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Non dobbiamo dividere il cerchio esterno dello strumento, ma il cerchio dello zodiaco!
2. **Sbagliato!** Con gli strumenti che abbiamo non siamo in grado di prendere questa misura e poi non ci serve!
3. **Esatto!** Questa misura sarà uno dei termini dell'operazione che ci permetterà di individuare la misura cercata!

Domanda 2. Dove riporti questa misura?

1. **Fra una coppia di punti qualsiasi delle linee poligrafiche.**
2. **Fra la coppia di punti 12 delle linee poligrafiche.**
3. **Fra la coppia di punti 6 delle linee poligrafiche.**

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** La coppia di numeri non deve essere casuale, ma dipende dal numero in cui vogliamo che sia divisa la circonferenza!
2. **Esatto!** In questo modo stabilisci il rapporto fra la circonferenza e il dodecagono inscritto in essa!
3. **Sbagliato!** La coppia di punti dipende dal numero in cui vogliamo che sia divisa la circonferenza, che nel nostro caso è 12, non 6!

Domanda 3. Per dividere il cerchio in 12 parti uguali, individua il lato del dodecagono inscritto alla circonferenza. Come fai?

1. **Prendi la distanza fra la coppia di punti 6 delle linee poligrafiche.**
2. **Prendi la distanza fra la coppia di punti 6 delle linee geometriche.**
3. **Prendi la distanza fra la coppia di punti 10 delle linee poligrafiche.**

Soluzioni:

1. **Esatto!** Questa misura corrisponde al raggio del cerchio circoscritto all'esagono con lato uguale a quello del dodecagono cercato. Poiché nell'esagono raggio e lato sono uguali, questa misura equivale anche al lato del dodecagono!
2. **Sbagliato!** Pur lavorando con le superfici, le linee geometriche non ci permettono risolvere il nostro problema!
3. **Sbagliato!** Questa misura non ci aiuta a risolvere il nostro problema!

I tuoi passi

Hai preso la misura del raggio del cerchio dello zodiaco.
Hai riportato la misura del raggio fra i punti 12.12 delle linee poligrafiche.
Hai individuato il lato del dodecagono che permette di dividere il cerchio in 12 parti uguali.

Complimenti! Sei riuscito a dividere il cerchio dello zodiaco dell'orologio notturno con il compasso di Galileo!

3.1.7 Quadratura delle superfici regolari (*VERSO - Linee tetragoniche*)

Introduzione

Le linee tetragoniche del compasso permettono di effettuare la “quadratura” delle superfici regolari, cioè, di misurarne l’area, ovvero di trovare il quadrato di superficie equivalente a quella di una figura data.

Con il solo ausilio del compasso e senza ricorrere a complicati calcoli aritmetici, era così possibile determinare le aree di figure riconducibili a poligoni regolari o a circonferenze.

Area poligono = Area quadrato = $l \times l$

Esempio

Proviamo ad effettuare la “quadratura” di una superficie circolare.

Prendiamo la misura del raggio del cerchio. Apriamo quindi il compasso in modo da riportare questa misura trasversalmente fra i due piccoli cerchietti (O) segnati sulle linee tetragoniche. Questa apertura del compasso riproduce il rapporto fra il nostro cerchio e quello ideale in base al quale è stata costruita la scala tetragonica.

Lasciamo il compasso con questa apertura e prendiamo la distanza fra la coppia di punti 4. Questa misura rappresenta il lato del quadrato avente superficie equivalente al cerchio dato. Basta quindi moltiplicare il lato per se stesso per avere la “quadratura” del cerchio.

Altrettanto semplicemente è possibile determinare il lato dei poligoni regolari aventi area equivalente a quella del cerchio. Lasciando il compasso con la precedente apertura e prendendo le distanze fra la coppia di punti 3, 6, 10, troviamo, infatti, i lati del triangolo, dell’esagono e del decagono aventi area equivalente al cerchio dato.

Prova tu!

ISTRUZIONI

**Prova tu a calcolare l’area di un dodecagono, effettuandone la “quadratura”.
Per trovare la soluzione, rispondi alle domande che ti verranno poste.
Buona fortuna!**

Domanda 1. Cosa significa “quadrare” il dodecagono?

1. **Trovare il quadrato con area equivalente al dodecagono dato.**
2. **Trovare il quadrato che circoscrive il dodecagono dato.**
3. **Trovare il quadrato con perimetro uguale al perimetro del dodecagono.**

Soluzioni:

1. **Esatto!** Questa equivalenza permette di calcolare l’area del dodecagono, calcolando quella del quadrato equivalente!
2. **Sbagliato!** Il quadrato così costruito avrebbe un’area maggiore del dodecagono!
3. **Sbagliato!** La “quadratura” si riferisce alle superfici e non a misure lineari!

Domanda 2. Per prima cosa prendiamo la misura del lato del dodecagono. Dove la riportiamo?

1. **Trasversalmente tra i punti 4.4 delle linee tetragoniche.**
2. **Trasversalmente fra i punti 10.10 delle linee tetragoniche.**
3. **Trasversalmente fra i punti 12.12 delle linee tetragoniche.**

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Sarebbe corretto se si trattasse di un quadrato, cioè una figura regolare con 4 lati!
2. **Sbagliato!** Sarebbe corretto se si trattasse di un decagono, cioè un poligono regolare di 10 lati!
3. **Esatto!** Poiché il dodecagono è un poligono regolare con 12 lati. L'apertura del compasso così ottenuta, riproduce il rapporto fra il nostro dodecagono e quello ideale, in base al quale sono state costruite le scale tetragoniche!

Domanda 3. Come individui il lato del quadrato cercato?

1. **Lasciando il compasso con questa apertura, prendo la distanza fra i punti 4.**
2. **Lasciando il compasso con questa apertura, prendo la distanza fra i punti 8.**
3. **Prendo la distanza fra l'origine e il punto 4 delle linee tetragoniche.**

Soluzioni:

1. **Esatto!** Grazie alla proporzionalità stabilita con l'apertura del compasso, questa distanza rappresenta il lato del quadrato avente area equivalente al dodecagono!
2. **Sbagliato!** Questa distanza corrisponde al lato dell'ottagono, non del quadrato, equivalente al dodecagono!
3. **Sbagliato!** Questa distanza corrisponde al lato del quadrato ideale in base al quale sono state costruite le scale tetragoniche del compasso!

I tuoi passi

“Quadrare” il dodecagono significa trovare il quadrato con area equivalente
Hai riprodotto sul compasso il rapporto fra il nostro dodecagono e quello ideale rappresentato dalle linee tetragoniche
Trovi il lato del quadrato prendendo la distanza fra i punti 4.4. delle linee tetragoniche.

Complimenti! Sei riuscito a trovare l'area di un dodecagono con il compasso di Galileo.

3.1.8 Area dei settori circolari (*VERSO - Linee aggiunte*)

Introduzione

Le linee aggiunte permettono di “quadrare” un settore circolare, cioè di misurarne l'area trovando il quadrato con superficie equivalente.

Questa operazione risultava particolarmente utile nel calcolo dell'area di superfici irregolari, in geometria, in architettura e anche in ambito militare.

Esempio

Proviamo a calcolare l'area di un settore circolare.

Con il compasso rapportatore prendiamo la metà della corda e riportiamo questa misura tra i punti siglati D delle linee aggiunte.

Lasciando il compasso con questa apertura, si prende la misura dell'altezza del settore e si riporta sulla scala *esterna* delle linee aggiunte, la cui suddivisione indica le frecce di 20 settori circolari aventi la stessa corda. Vediamo che questa misura si adatta fra la coppia di punti 10.

Dato che sulla scala interna sono indicati i lati dei quadrati aventi aree uguali ai rispettivi settori circolari, la distanza tra i punti 10 della scala *interna* corrisponde al lato del quadrato con superficie equivalente al settore circolare.

Allo stesso modo, se l'altezza del settore circolare si fosse adattata fra i punti 5 della scala *esterna*, la distanza fra i punti 5 della scala *interna* sarebbe stato il lato del quadrato cercato.

Prova tu!

ISTRUZIONI

Prova a calcolare l'area di un settore circolare, effettuandone la "quadratura".
Per trovare la soluzione, rispondi alle domande che ti verranno poste.
Buona fortuna!

Domanda 1. Cosa significa "quadrare" un settore circolare?

1. Trovare il quadrato con area equivalente al settore circolare dato.
2. Trovare il quadrato che circoscrive il settore circolare dato.
3. Trovare il quadrato con perimetro uguale al perimetro del settore circolare.

Soluzioni:

1. **Esatto!** Questa equivalenza permette di ottenere l'area del settore circolare, calcolando quella del quadrato equivalente!
2. **Sbagliato!** Il quadrato così costruito avrebbe un'area maggiore del settore circolare!
3. **Sbagliato!** La "quadratura" si riferisce alle superfici e non a misure lineari!

Domanda 2. Per prima cosa prendi la misura della semicorda del settore circolare. Dove la riporti?

1. Trasversalmente tra i punti 4 della scala esterna delle linee aggiunte.
2. Trasversalmente fra due punti qualsiasi delle linee aggiunte.
3. Trasversalmente fra i punti siglati D delle linee aggiunte.

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Fra i punti numerati della scala esterna delle linee aggiunte vanno riportate le altezze dei settori circolari!
2. **Sbagliato!** Questa distanza va riportata fra una coppia precisa di punti, in modo da stabilire la giusta apertura del compasso!
3. **Esatto!** In questo modo si stabilisce il rapporto, rispetto alla corda, fra il nostro settore circolare e quello in base al quale sono state costruite le scale aggiunte!

Domanda 3. Oltre alla corda, l'altro dato necessario che identifica il settore circolare è la sua altezza. Dove la riporti?

1. Vedi dove si adatta trasversalmente, fra una coppia di punti della scala *esterna* delle linee aggiunte.
2. Vedi dove si adatta trasversalmente, fra una coppia di punti della scala *interna* delle linee aggiunte.
3. Vedi dove si adatta trasversalmente, fra una coppia di punti delle linee tetragoniche.

Soluzioni:

1. **Esatto!** La scala esterna, infatti, è stata costruita riportando le diverse altezze dei settori circolari aventi la stessa corda!
2. **Sbagliato!** La scala interna riporta i lati dei quadrati aventi area uguale ai settori circolari costruiti sulla scala esterna!
3. **Sbagliato!** Le linee tetragoniche permettono di effettuare la quadratura delle figure regolari e non dei settori circolari!

Domanda 4. Infine, come individui il lato del quadrato con area equivalente al settore circolare?

1. Prendi la distanza fra i punti 4 della scala *interna* delle linee aggiunte.
2. Prendi la distanza fra i punti 8 delle linee tetragoniche.
3. Prendi la distanza fra i punti 8 della scala *interna* delle linee aggiunte.

Soluzioni:

1. **Sbagliato!** Sarebbe stato esatto se l'altezza del settore circolare si fosse adattata fra i punti 4 della scala esterna delle linee aggiunte!
2. **Sbagliato!** Le linee tetragoniche permettono di effettuare la quadratura delle figure regolari e non dei settori circolari!
3. **Esatto!** Per la particolare costruzione delle linee aggiunte, abbiamo che questa distanza corrisponde al lato del quadrato con superficie equivalente al settore circolare!

I tuoi passi

“Quadrare” il settore circolare significa calcolarne l’area trovando il quadrato con area equivalente.
Hai riportato la semicorda del settore circolare sul compasso, stabilendone la giusta apertura per questa operazione.
Hai riportato l’altezza del settore circolare fra i punti 8 della scala esterna delle linee aggiunte.
Hai preso la distanza fra i punti 8 della scala interna delle linee aggiunte, cioè il lato del quadrato equivalente al settore dato.

Complimenti, sei riuscito a quadrare un settore circolare con il compasso di Galileo!

3.1.9 Squadra da bombardieri (*QUADRANTE - 1^a Scala*)

Introduzione

Abbinato al quadrante e al filo a piombo, il compasso di Galileo poteva essere usato come *squadra da bombardieri*, cioè per misurare l'alzo dei cannoni.

Esempio

Per usarlo esattamente come tale, si inserisce la gamba nella bocca da fuoco. Il filo a piombo, perpendicolare al terreno, registra sulla prima scala del quadrante l'inclinazione del braccio inserito e, quindi, del cannone.

Questa procedura, seppur corretta, aveva però il difetto di esporre l'artigliere al tiro nemico. Per evitare questo rischio, Galileo propone un accessorio, la cosiddetta zanca, che permette di misurare l'alzo tenendo il compasso sul dorso del cannone in prossimità della culatta. Dato lo spessore variabile del cannone, la zanca serve a posizionare il compasso parallelamente alla canna da fuoco.

3.1.10 Quadrante astronomico (*QUADRANTE - 2^a Scala*)

Introduzione

Abbinato al quadrante e al filo a piombo, il compasso di Galileo poteva essere utilizzato per effettuare operazioni astronomiche, necessarie soprattutto per l'orientamento durante la navigazione in mare aperto.

La seconda scala del quadrante, il quadrante astronomico, permetteva, infatti, di misurare la declinazione del Sole, l'altezza di un astro, la distanza tra due stelle e altre operazioni astronomiche.

Esempio

Proviamo a misurare l'altezza di una stella sull'orizzonte. Per prima cosa posizioniamo il compasso in modo da trarre l'astro con il braccio del compasso.

Quindi, tenendo il compasso con questa inclinazione, osserviamo dove cade il filo a piombo rispetto alla seconda scala del quadrante. Vediamo che il filo indica il punto 32. La stella si trova, quindi, 32° sopra all'orizzonte.

3.1.11 Scala delle pendenze (*QUADRANTE - 3^a Scala*)

Introduzione

Applicando il quadrante e il filo a piombo sul forellino all'inizio della squadra da bombardieri, il compasso di Galileo poteva essere utilizzato per misurare le pendenze, come per esempio l'inclinazione delle muraglie.

Esempio

Proviamo a misurare l'inclinazione della muraglia di una fortezza. Appoggiamo il braccio del compasso alla muraglia e controlliamo dove cade il filo a piombo rispetto alla scala delle pendenze, ad esempio sul punto 3.

Esso indica il rapporto che intercorre fra l'altezza della muraglia e la sua scarpa, in questo caso 3 a 1. Questo rapporto misura la pendenza stessa della muraglia. Maggiore è il rapporto, maggiore è la sua pendenza.

3.1.12 Quadrato delle ombre (*QUADRANTE - 4^a Scala*)

Introduzione

L'ultima scala del quadrante è il quadrato delle ombre che permetteva di misurare le distanze inaccessibili, come l'altezza delle torri o delle montagne, la profondità dei pozzi, le distanze fra due luoghi lontani.

Esempio

Proviamo a misurare l'altezza di una torre. Per prima cosa, il compasso va montato in verticale su uno stativo, possibilmente alla distanza di 100 passi dalla torre.

Si traguarda, quindi, la sommità della torre. Se il filo a piombo cade nella metà del quadrante opposta all'occhio del misuratore, il numero indicato, ad esempio 92, corrisponde all'altezza cercata, vale a dire 92 passi.

Sul quadrante si visualizza infatti un triangolo proporzionale a quello avente per cateti l'altezza della torre e la distanza di osservazione, per cui si può dire che l'altezza cercata x sta alla distanza di 100 passi, come sul quadrante 92 sta a 100.

Se il filo cade invece nella metà verso l'occhio dell'osservatore, mettiamo ad esempio sul punto 81, si ottiene la seguente proporzione: l'altezza della torre x sta alla distanza di 100 passi, come sul quadrante 100 sta a 81. Svolgendo la proporzione, che impone l'uguaglianza tra il prodotto dei medi e quello degli estremi, si ottiene che l'altezza cercata è uguale a 10.000 diviso 81, ossia 123 passi. Quando il filo cade nella metà verso l'occhio, quindi, basta dividere 10.000 per il numero indicato.

3.2 IL TESTO DI GALILEO

Nel giugno del 1606 Galileo fece stampare, nella propria casa di Padova, dal tipografo Pietro Marinelli, 60 copie de *Le operazioni del compasso geometrico e militare*. L'opuscolo veniva venduto insieme a un esemplare dello strumento di cui descriveva le molteplici applicazioni. Forse allo scopo di prevenire eventuali plaghi della propria invenzione, Galileo omise di spiegare la costruzione delle linee proporzionali.

Il testo è preceduto da una *Dedica* al giovane Principe Cosimo de' Medici (1590-1621), che Galileo istruì personalmente all'uso del compasso, e da un *Proemio ai Lettori* in cui lo scienziato rivela particolari importanti della sua invenzione.

Per accedere al testo integrale de *Le operazioni del compasso geometrico e militare* di Galileo Galilei vai nella sezione RISORSE di questo sito e apri il file PDF oppure scaricati il file RTF.