

GALILEO GALILEI

MISURARE L'INFINITO

IN MOSTRA DAL 12 MARZO AL 12 GIUGNO 2022
PASSEGGIATA COPERTA DEL BASTIONE DI S. REMY



UNA GRANDE MOSTRA A 380 ANNI DALLA MORTE DEL GRANDE SCIENZIATO CHE HA RIVOLUZIONATO CON LE SUE SCOPERTE E IL SUO METODO LA NOSTRA STORIA, TRAGHETTANDO L'UMANITÀ VERSO LA SCIENZA MODERNA.

L'esposizione si compone di diverse sezioni che indagano la vita, le invenzioni, le scoperte di Galileo, la temperie culturale del suo tempo, il propagarsi delle scoperte scientifiche tramite la stampa, ma anche il ruolo della censura che comunque non ha impedito alle verità scientifiche di venire alla luce spinte da quella sete di "canoscenza" che già Dante esprimeva come necessità dell'uomo e del suo esistere.

Misurare il tempo in forma rigorosa, una necessità che nasce dal bisogno di definire e scandire la ciclicità dell'anno e delle stagioni, della vita civile, delle festività religiose. L'uomo sente il tempo, lo avverte, lo calcola attraverso l'astronomia.

Misurare la materia nelle sue forme astratte usando il linguaggio universale della matematica, che lo stesso Galileo riconosce come elemento comune a tutto il Creato, la voce divina che regola ogni cosa, la chiave per comprendere, il ponte tra la pura speculazione e la sua dimostrazione, per fondare una nuova teoria del movimento dei corpi attraverso geniali sperimentazioni e deduzioni.

Misurare lo spazio senza timore di guardare alla volta celeste, formulare le posizioni dei pianeti, per muoversi sulla terra, grandioso theatrum mundi su cui l'uomo intende lasciare traccia del suo passaggio, della sua supremazia cercata anche attraverso l'uso di armi perfezionate dagli studi scientifici.

L'umanità vive un pianeta su cui navigare orientandosi con le stelle, l'uso di mappe accurate tracciate da nuove strumentazioni, sotto la luce di una luna sempre più vicina grazie all'invenzione del cannocchiale. Esplorare, scoprire, ridisegnare la geografia e l'astronomia arrivando a confutare teorie ritenute perfette anche a costo di rischiare la propria vita.

Ecco l'uomo moderno, il parente più prossimo alla nostra contemporaneità.



LE MACCHINE DI GALILEO

Un corpus di più di venti macchine, di cui molte inedite, tra le quali compare la riproduzione fedele del famoso telescopio, permetteranno ad adulti e bambini di scoprire il mondo straordinario del grande astronomo, fisico e matematico. Galileo fu il primo scienziato a usare il telescopio per osservare e descrivere le fasi lunari, i punti solari, i quattro satelliti di Giove, a cui diede il nome di "astri medicei" (Io, Europa, Ganimede e Callisto), in onore di Cosimo II de' Medici, e persino gli anelli di Saturno.

Le macchine sono realizzate filologicamente dalla famiglia Nicolai, già celebre per la creazione delle macchine ispirate dai trattati di Leonardo, oggi esposte presso il museo di Leonardo da Vinci di Firenze e in diverse mostre internazionali.

IL TRATTATO DI GALILEO

Sarà inoltre possibile ammirare il prezioso volume di Galileo Galilei "Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo", appartenente alla sezione di libri rari della Biblioteca Universitaria. Il trattato, in forma di dialogo, fu pubblicato nel 1632. Un anno dopo, nel 1633, Galileo fu accusato di eresia e costretto ad abiurare le sue teorie astronomiche e l'opera fu inserita nell'Index librorum prohibitorum.

IL RAPPORTO TRA ARTE E SCIENZA NELLA COLLEZIONE UGO UGO

L'esposizione si chiude con una scelta di opere d'arte appartenenti alla Collezione d'Arte Contemporanea voluta da Ugo Ugo, direttore della Galleria Comunale d'Arte tra gli anni Sessanta e Ottanta. I lavori selezionati documentano il rapporto esistente tra arte e scienza e in particolare tra estetica e percezione ottica e visiva. Le opere d'arte esposte appartengono alla corrente dell'Arte Programmata, secondo la precisa definizione che assunsero in Italia le esperienze artistiche internazionali dell'Arte Cinetica e dell'Arte Optical. Esula dal corpus riferito alla ricerca cinetica e alla percezione visiva la straordinaria scultura in marmo nero del Belgio eseguita da Giò Pomodoro e rappresentante il Sole, a ricordarci Galileo e le sue incredibili scoperte astronomiche.



Galileo Galilei nacque a Pisa il 15 febbraio 1564 da una famiglia di antiche origini, figlio di Vincenzo, musicista e teorico della musica, e di Giulia Ammannati.

Trasferitosi nel 1574 a Firenze, studiò all'Abbazia di Vallombrosa, dove divenne novizio.

Immatricolato nel 1580 presso l'ateneo pisano alla facoltà di medicina, nel 1585 lasciò l'università senza laurearsi. Introdotto allo studio di Euclide e Archimede da Ostilio Ricci, decise di dedicarsi alle scienze matematiche. Per mantenersi impartì lezioni private e iniziò a scrivere articoli e saggi.

Nel 1589 gli venne assegnata la cattedra di matematica a Pisa. Nel 1592 accettò un incarico meglio retribuito all'Università di Padova, dovendo provvedere a fratelli e sorelle in seguito alla morte del padre avvenuta nel 1591. A Padova trascorse gli anni migliori della sua vita, dove ebbe anche un'officina tecnica, in cui si producevano e vendevano bussole, compassi geometrici e militari, squadre e altri strumenti meccanici, a cui si aggiunsero poi i cannocchiali.

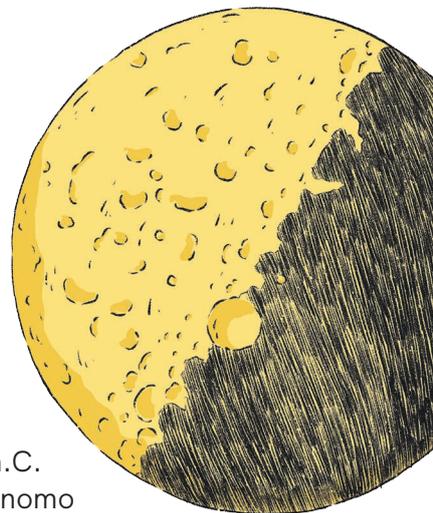
Nel 1610 venne nominato Matematico e Filosofo del Granduca di Toscana. Per la sua difesa del sistema copernicano venne denunciato al Santo Uffizio e nel 1616 iniziò il primo processo. Nel 1633 venne costretto dal Tribunale dell'Inquisizione ad abiurare le sue concezioni astronomiche. Confinato nella villa di Arcetri, morì nel 1642.

COSMOLOGIA E COSMOGRAFIA

al tempo di Galileo Galilei

La rappresentazione del Mondo al tempo di Galileo si basava su un insieme eterogeneo e complesso di conoscenze afferenti alla cultura scolastica, monastica e umanistica, che andava dalla antica cosmologia cristiana, che inquadrava il pianeta Terra all'interno della narrazione della creazione ad opera di Dio, all'astronomia e astrologia di stampo tolemaico, passando per la filosofia naturale aristotelica, fino a giungere ai resoconti dei viaggiatori, "trattati" tramandati in forma principalmente orale, di monaci, ambasciatori, mercanti e naviganti.

In Occidente, la visione del Cosmo era stata descritta a partire dal IV sec. a.C. secondo un sistema geocentrico, che fu in seguito perfezionato dall'astronomo Tolomeo nel II sec. d.C. Tale sistema venne accettato anche in epoca medievale, perché ritenuto conforme alle dottrine filosofiche e religiose del tempo, per essere poi messo in discussione e sostituito tra il XVI e il XVIII sec. da Galilei, Keplero e Newton che invece teorizzarono e dimostrarono scientificamente il sistema eliocentrico.



L'INVENZIONE DEL CANNOCCHIALE E LE SCOPERTE ASTRONOMICHE DI GALILEO

È stato da tempo chiarito che un prototipo di cannocchiale sia stato realizzato da un occhialaio olandese alla fine del XVI sec. Le prime notizie relative a un "tubo con due lenti alle estremità" in Italia si hanno a partire dal 1608, mentre è nel 1610 che Galilei riuscì a costruire un esemplare completamente da solo; nei mesi successivi giunse a produrre diversi esemplari migliorati e con un potere di ingrandimento sempre più considerevole, anche fino a 30 volte. Sebbene inizialmente l'oggetto venne brevettato come dispositivo bellico, eccellente aiuto "diagnostico" per le campagne militari (in tal modo venne presentato al Doge Donato nell'agosto del 1609), fu quasi da subito impiegato da Galileo come strumento scientifico moderno, e puntato verso il cielo alla scoperta delle leggi che regolano gli astri.

Tra i primi oggetti celesti che Galilei osservò con il cannocchiale ci fu la Luna, della quale realizzò disegni della superficie, arrivando a calcolare addirittura le altezze dei monti. Studiò la cintura di Orione e la Via Lattea ("non è che un ammasso di innumerevoli stelle disseminate a mucchi"), osservò Giove e le quattro "stelle" che ruotavano attorno al pianeta, arrivando a comprendere ben presto che si trattava di lune: il sistema copernicano era stato provato.

Per non perdere il primato della scoperta sensazionale, Galilei pubblicò il risultato delle proprie ricerche nel *Sidereus nuncius*, pubblicato nel 1610 in tempi *record* in 550 copie che andarono a ruba. Nell'opera sono riportate le scoperte astronomiche fatte da Galileo tra il 1609 e il 1610 grazie all'utilizzo del cannocchiale, tra cui la scoperta della superficie scabra e irregolare della Luna, l'immenso numero di stelle che affollano le profondità siderali formando la via Lattea e le nebulose e la rotazione di quattro satelliti intorno al pianeta Giove.

MISURARE IL TEMPO

Le conquiste di Galileo Galilei risultano fondamentali nel perfezionamento dei sistemi di misura del tempo. Lo scienziato da giovane per misurare il tempo si avvalse di uno strumento... a portata di mano! Utilizzò infatti le pulsazioni del polso: un battito cardiaco regolare consente una misurazione del tempo quasi costante e più precisa rispetto a quella degli orologi dell'epoca, essendo la pulsazione più frequente del secondo, che nel Cinquecento non si riusciva a determinare. Questo sistema di misurazione tramite "battute di polso" è documentato da Galileo in due scritti, il "Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo" e "Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze". Scoprendo l'isocronismo del pendolo, il fisico diede poi una svolta decisiva alla storia della misura del tempo.

GALILEO E LA SPERIMENTAZIONE MODERNA

Convenzionalmente l'invenzione del "metodo sperimentale" è attribuita a Galileo Galilei, ma le radici di questo rivoluzionario sistema scientifico di indagine della realtà risalgono all'antichità, al Medioevo e al Rinascimento.

Il metodo consiste nella raccolta di dati empirici tratti dal reale partendo da teorie da dimostrare: lo scienziato osserva i fenomeni naturali per poi tradurli in elementi misurabili con la matematica. I dati raccolti permettono di elaborare un'ipotesi verificabile con altri esperimenti, fino alla formulazione di una legge.

Il metodo sperimentale è diviso in fasi:

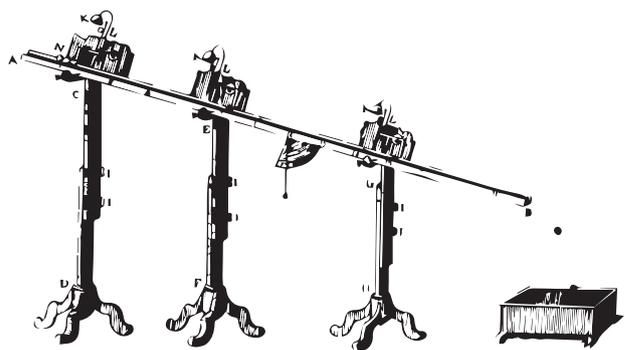
- osservazione del fenomeno;
- formulazione dell'ipotesi;
- esperimento;
- verifica dell'ipotesi;
- risultati e formulazione di una legge.

GLI ESPERIMENTI DI FISICA

Tra gli artefici della rivoluzione scientifica Galilei è sicuramente il più famoso: grazie all'applicazione del metodo sperimentale riuscì a stravolgere il modo di studiare la natura.

Uno dei suoi esperimenti pratici più noti è quello che gli permise di misurare la caduta dei corpi per gravità. Per farlo ideò un piano inclinato lungo e regolare dove fece scivolare delle sfere pesanti per calcolarne, con un orologio ad acqua (un cronometro composto da un vaso con un foro sul fondo azionato togliendo un dito dal tubo), il tempo di caduta.

Usando strumenti come il piano, la palla e il vaso lo scienziato fece decine di esperimenti, non tutti riusciti, ma sicuramente validi per dimostrare che grazie all'applicazione di un metodo scientifico si può arrivare a delle conclusioni certe e ripetibili.



LA DIVULGAZIONE SCIENTIFICA AI TEMPI DI GALILEO

La nascita della scienza moderna e della comunicazione della scienza è ben evidente nel fiorire di Accademie e Scuole scientifiche in tutta Europa e da un forte impulso alla ricerca nelle varie discipline (non solo fisica ma anche matematica, biologia, chimica, epistemologia e medicina) che danno luogo a una vera e propria rivoluzione scientifica.

Le nascenti accademie europee comunicano tra loro attraverso nuovi strumenti, in primo luogo riviste scientifiche, ma anche lettere e libri, raggiungendo anche un pubblico di non esperti attraverso libri più divulgativi, e nuovi linguaggi: musei, esperienze e nuove forme di comunicazione orale.

Una forma particolare di comunicazione della scienza è rappresentata dai linguaggi artistici: si assiste infatti al diffondersi delle scoperte scientifiche attraverso il modo in cui queste ultime impressionano gli artisti e ne lasciano traccia nelle loro opere. La scienza diventa ispiratrice per l'arte. E a sua volta l'arte ispira la scienza.

IL LINGUAGGIO DI GALILEO

Nel 1600 esiste un volgare consolidato prettamente letterario, i cui riferimenti sono gli autori del 1300. Il latino era la lingua ufficiale della scienza. Galileo scrive in latino solo alcuni testi, come ad esempio il *Sidereus Nuncius*.

La scelta di utilizzare il volgare toscano nasce dalla volontà di rivolgersi e raggiungere anche il pubblico non specialistico. A lui si deve la creazione di una lingua funzionale per veicolare concetti complessi.

Fortemente innovatore e considerato da Calvino uno dei più grandi scrittori italiani, il linguaggio di Galileo si distingue, in un periodo dominato dalla retorica, per uno stile preciso, di grande efficacia e chiarezza scientifica, capace al tempo stesso di rarefazione lirica. La potenza evocativa del suo linguaggio, il cui modello sono gli autori rinascimentali, fa grande ricorso alla metafora, utilizzata per rendere più comprensibili i passaggi tecnici delle sue teorie.

Mutua da Ariosto l'ironia, di cui si serve nei dialoghi, spesso utilizzati come escamotage per avvicinare il lettore.

A Galileo si devono alcuni neologismi tuttora in uso in campo scientifico, come ad esempio il termine "macchie solari".

I DIALOGHI

Il trattato è dedicato a Ferdinando II de' Medici Granduca di Toscana, e venne finito di stampare presso Giovambattista Landini il 21 febbraio 1632, con l'esibizione di tutte le autorizzazioni ottenute, sia a Roma che a Firenze.

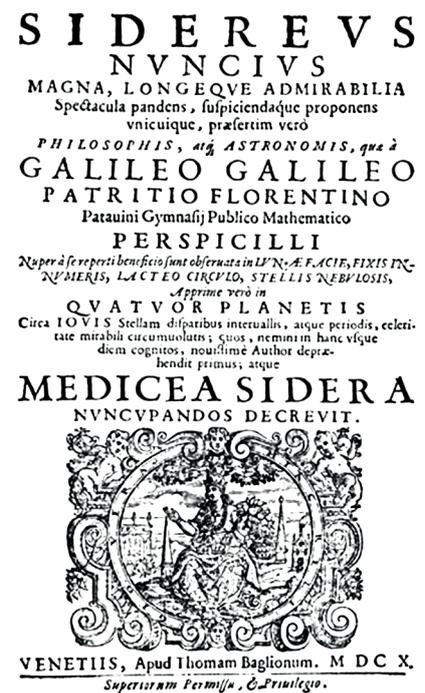
Iniziato nel 1624 e concepito inizialmente come «'Dialogo del flusso e reflusso', che si tira in conseguenza il sistema copernicano», subì diverse battute d'arresto a causa di beghe familiari e politiche. Fu proibito e inserito nell'Indice il 23 agosto 1634, e si configura come il più importante scritto filosofico all'interno di quella che sarà l'imminente rivoluzione scientifica.

L'opera è strutturata nel dialogo fra tre personaggi: Simplicio (che riprende il nome dell'antico filosofo del VI secolo Simplicio di Cilicia), Sagredo e Filippo Salviati, che in quattro giornate affrontano i temi scientifici principali del tempo, per arrivare a una confutazione del sistema tolemaico-aristotelico a favore di un sistema copernicano.

IL PROCESSO

Nel momento in cui in tutta Europa si diffusero le nuove scoperte di Galilei, lo scienziato entrò in conflitto con la Chiesa cattolica. Nelle lettere a Benedetto Castelli del 1613 e a Cristina di Lorena del 1615, Galileo rivendicò l'autonomia della scienza dalla fede e difese il sistema copernicano. Ma nel 1616 la Chiesa condannò la tesi eliocentrica e Galileo fu ammonito dal cardinale Roberto Bellarmino.

L'elezione nel 1623 di Papa Urbano VIII fece illudere lo scienziato di poter riprendere la battaglia in difesa delle sue teorie e nel 1632 pubblicò il "Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo", un'opera dove difendeva le idee di Copernico. Il Dialogo venne sequestrato e nel 1633 Galileo fu convocato a Roma dal Tribunale dell'Inquisizione. Il processo finì con la condanna al carcere a vita dello scienziato, che fu anche costretto ad abiurare.



LA FORTUNA DI GALILEO

Il pensiero filosofico e scientifico di Galilei, il metodo matematico sperimentale, la battaglia copernicana determinano in modo prevalente la fortuna dello scienziato. Nonostante il processo per eresia e l'abiura nel 1633, gli allievi della scuola galileiana continuarono le ricerche del maestro, dissimulando però le implicazioni filosofiche del suo lavoro e astenendosi prudentemente dal riprenderne esplicitamente le idee astronomiche e cosmologiche.

Negli scritti dei filosofi illuministi del XVIII secolo Galilei è spesso associato a Bacone, Cartesio, Newton e Locke come precursore delle idee illuministe. Nel corso dell'Ottocento il messaggio di Galileo viene assimilato dalla cultura italiana, basti pensare ai *Sepolcri* e alle *Grazie* di Ugo Foscolo. All'inizio del Novecento Benedetto Croce sottolinea l'approccio antimetafisico alla natura e l'eliminazione delle stravaganti filosofie della natura che non sono né scienza, né filosofia.

Oggi, a distanza di ben 412 anni da quel 7 gennaio 1610, quando Galilei riuscì a scoprire le lune di Giove e a provare la falsità del modello aristotelico-tolemaico, in seguito all'applicazione del "metodo scientifico" da lui inventato (fondato sul principio di riproducibilità dell'osservazione e dell'esperimento) alle sue osservazioni con il cannocchiale, continuiamo a studiare gli astri proprio grazie all'impiego di telescopi sempre più ingegnosi, gli ultimi dei quali - Hubble e J.W. Webb - hanno varcato fisicamente i confini della Terra per studiare l'evoluzione delle galassie ed eventuali pianeti con condizioni ideali per forme di vita elementari.

L'INFLUENZA DELLE SCOPERTE GALILEIANE NELL'ARTE CONTEMPORANEA

Le scoperte di Galileo Galilei compaiono in molti capolavori della storia dell'arte. Galileo perfezionò il cannocchiale e lo applicò all'astronomia, di cui era appassionato Giacomo Balla, che realizzò il dipinto futurista "Mercurio passa davanti al Sole" (1914), dopo aver osservato, come racconta la figlia, «col suo cannocchiale il passaggio di Mercurio davanti al sole», un fenomeno raro.

Gli "orologi molli" del dipinto surrealista "La persistenza della memoria" (1931) di Salvador Dalì rimandano alle conquiste galileiane per perfezionare la misurazione del tempo.

L'officina tecnica dello scienziato è rievocata dai dipinti metafisici di Giorgio De Chirico, tra cui "Il trovatore" (1917) ed "Ettore e Andromaca" (1917).

Il dipinto di Carlo Carrà "L'amante dell'ingegnere" (1921) riporta invece alla mente il compasso geometrico e militare.

LA COLLEZIONE D'ARTE CONTEMPORANEA UGO UGO

Inaugurata nel marzo del 1975, la Collezione d'Arte Contemporanea fu fortemente voluta da Ugo Ugo, direttore della Galleria Comunale d'Arte dal 1966 al 1985, il quale decise di documentare a Cagliari, con opere acquistate dal Comune a prezzo politico, i più significativi indirizzi della ricerca contemporanea in campo nazionale e internazionale tra gli anni Sessanta e Settanta.

Il progetto, avviato nel 1968 con la collaborazione dell'allora vice direttore dei Musei Civici di Torino Aldo Passoni, porta in circa otto anni all'acquisizione di ottantadue opere d'arte, eseguite tra la fine degli anni Sessanta e il 1974, tranne due eccezioni, costituite dalla tempera di Gastone Biggi del 1963 e dall'olio di Valentino Vago del 1977, che sostituisce l'opera acquistata dalla Galleria, danneggiata in modo fortuito, restando sempre in linea con il progetto della



collezione, fondata "su linee di tendenze artistiche e problematiche ben precise, emerse o emergenti in un clima culturale e storico determinato", come spiega Antonello Negri nel catalogo della mostra.

Per quanto non siano rappresentati tutti gli artisti significativi per l'arte contemporanea italiana, sono di certo rappresentate tutte le tendenze e i principali nodi di dibattito che hanno caratterizzato la scena artistica italiana e internazionale in quel periodo, segnato da quello che è stato definito lo "spirito del '68".



Tra gli artisti sono presenti anche tredici sardi, selezionati con la consulenza di Salvatore Naitza, i quali, come scrive Ugo, "tenevano il passo con la ricerca contemporanea".

Alla fine degli anni Sessanta - primi anni Settanta, Ugo, nella realizzazione di questa straordinaria Collezione d'Arte Contemporanea, fu supportato da un importante gruppo di critici e studiosi; oltre ai già citati Aldo Passoni, Antonello Negri e Salvatore Naitza, si ricordano Zeno Birolli, Corrado Maltese, Vittorio Fagone, Gillo Dorfles e Marisa Volpi Orlandini. Le opere presenti nella collezione, dipinti, sculture e opere grafiche, sono ascrivibili all'Arte Pop e all'Arte Concettuale, all'Arte Minimal e all'Arte Povera, all'Astrazione, alla Pittura Analitica e all'Arte Optical.

In occasione della mostra "Galileo Galilei - Misurare l'infinito" sono state selezionate le opere ascrivibili alle tendenze dell'Optical e dell'Arte Programmata, correnti che si sono occupate principalmente del rapporto tra arte e scienza.

LA FAMIGLIA NICCOLAI

Le macchine esposte sono state ideate e costruite dagli artigiani fiorentini della Niccolai Teknoart. La famiglia Niccolai è conosciuta fin dal 1960 per aver restaurato le macchine di Leonardo da Vinci dell'Istituto Tecnico Industriale di Firenze.

Nel 1995 la ditta Niccolai ha riprodotto, in collaborazione con storici, accademici e professionisti una serie di modelli interattivi tratti dai disegni dei codici vinciani, realizzati utilizzando materiali come il legno, il cotone, l'ottone, il ferro e il cordame. Cinquanta delle macchine create sono state esposte tra il 2004 e il 2005 al Museo Leonardo da Vinci di Firenze.

Dal 2002 la Teknoart s.r.l., fondata dalla famiglia Niccolai e da un gruppo di artigiani fiorentini, ha iniziato ad esporre le macchine di Leonardo in mostre itineranti tra le città d'arte toscane e italiane per poi promuovere, grazie anche alla collaborazione con il professor Luigi Rizzo, e successivamente di suo figlio Tom, mostre itineranti in Australia e Nuova Zelanda.

Nel 2012 Niccolai e Artisans of Florence International di Luigi e Tom Rizzo lanciano una nuova mostra con la riproduzione di macchine "tecnologiche" ispirate all'antica Roma dei tempi dell'imperatore Giulio Cesare., presentata, tra le altre sedi al Museo di Guerra di Seoul in Corea del Sud e il Museo della Scienza di Hong Kong in Cina.

Segue la produzione di macchine ispirate ad Archimede di Siracusa e alla tecnologia ellenistica, esposte anche presso il Rocket Center, il Centro visitatori ufficiale del Marshall Space Flight Center della NASA.

In occasione del 500esimo anniversario della morte di Leonardo Da Vinci, nel 2019 la Niccolai Teknoart ha creato il più grande museo interattivo dedicato al genio fiorentino con oltre 120 modelli esposti e laboratori interattivi.

LA MOSTRA BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTARIA DELLA MEM - MEDIATECA DEL MEDITERRANEO

La mostra bibliografica e documentaria, che viene allestita presso le sale della MEM a cura dell'Archivio Storico, della Biblioteca Studi sardi e della Biblioteca Generale, intende celebrare la memoria dello scienziato Galileo Galilei, spaziando nei territori delle scienze, naturali, geografiche, oltrechè applicate, nell'intento di guidare il pubblico in un percorso di conoscenza o riscoperta.

Come documenti simbolo dell'esposizione saranno presenti la "Carta della storia del mondo" del 1831, dove gli eventi vengono raccontati attraverso il corso di grandi fiumi, e la "Cosmographiae universalis" di Sebastian Münster, un testo cinquecentesco contenente la descrizione del mondo allora conosciuto e che ha al suo interno la prima rappresentazione a stampa della città di Cagliari.

L'esposizione prosegue affrontando il campo dell'astronomia con il "Theatro del mundo y del tiempo", una bellissima seicentina di Giovanni Paolo Gallucci che contiene numerose e interessanti illustrazioni, composte da dischi sovrapposti e ruotanti che meglio illustrano il movimento degli astri. Nelle sale espositive si potranno anche ammirare dei testi di scienze naturali, danneggiati durante i bombardamenti del 1943, e alcune monografie su Galileo. Si potrà inoltre visionare una selezione di carte geografiche, come le stampe che riproducono Cagliari e la Sardegna nei secoli passati o i mappamondi ottocenteschi, testimonianze dei molteplici tentativi dell'uomo di descrivere lo spazio.

ARCHIPENDOLO

Il nome archipendolo deriva dal latino arcus e pendulus. Il modello più semplice che conosciamo fu costruito dal popolo egizio ed era utilizzato come strumento di misurazione nella partizione delle terre. L'archipendolo è costituito da un telaio rigido a forma triangolare, con un angolo al vertice su cui è appeso un filo: questo angolo è retto se lo strumento viene usato come squadra. Il filo casca sempre perpendicolare al piano, grazie a un piombo che viene agganciato al filo.

Il piombo, ai tempi di Galileo, era fatto in ottone e poteva avere varie forme, ma la caratteristica fondamentale è che avesse un peso tale da tendere il filo e che terminasse con una punta che segnasse, attraverso una barra graduata, il valore preciso di inclinazione del piano.

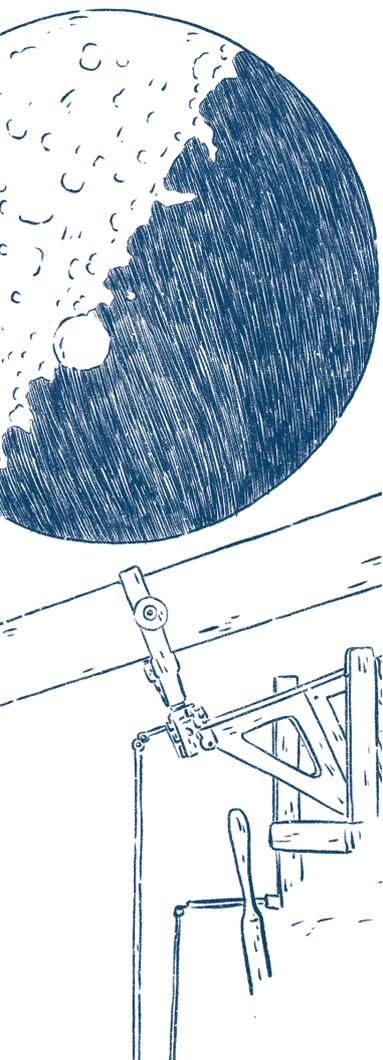
Appoggiando l'archipendolo su un piano, è possibile conoscere l'inclinazione di quest'ultimo andando a leggere il valore riportato sulla tacca per la quale passa il filo teso. Tra le tacche, quella posizionata nel punto medio della traversa indica l'orizzontalità.

ASTROLABIO DI GALILEO

L'astrolabio è uno strumento usato per lo studio astronomico, comprendente varie funzioni che lo rendono un dispositivo di calcolo analogico in grado di dare informazioni rispetto al complesso spazio astrale.

È in grado di misurare l'altitudine sopra l'orizzonte di una stella, utile sia di giorno che di notte; può essere usato per identificare stelle o pianeti, per determinare la latitudine locale data l'ora locale (e viceversa), per rilevare o per triangolare.

L'inventore dell'astrolabio, utilizzato sia in Oriente che in Europa occidentale fino al XVII secolo, è stato identificato con



il matematico Teone di Alessandria, vissuto nel IV secolo. Il nome deriva dal greco bizantino *astrolábion*, a sua volta proveniente dal sostantivo greco “*astér*” (astro) e dal verbo greco “*lambánō*” (= prendere, afferrare).

BILANCIA DI 3° ORDINE O LEVA DI TERZO GENERE

La bilancia è uno degli esempi di applicazione dei principi della leva che venne teorizzato da Archimede e ripreso da Galileo. Grazie ai principi di Archimede sono state possibili tante realizzazioni di macchine semplici, partendo dal solo concetto che “un corpo simmetrico appeso nel suo centro, è in equilibrio”.

Ricordiamo la celebre frase “*Da mihi ubi consistam, et terram coelumque movebo*” (Datemi un punto d’appoggio e solleverò il mondo), riferita alla possibilità di equilibrare con la leva pesi molto grandi con pesi tanto minori quanto maggiore sia la distanza tra il fulcro della leva ed il punto in cui essi vengono applicati.

CANNONE E BALISTICA PER GALILEO

La balistica segna gli studi sia giovanili che maturi del grande scienziato.

Preannunziato dal “Dialogo sopra i due massimi sistemi”, nel 1638 Galileo diede alle stampe i “Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze”, dove perfezionò la sua teorizzazione sui “moti locali, naturale e violento”.

La quarta giornata dell’opera condotta in forma dialogica, indaga il moto dei proiettili dimostrando che la traiettoria possiede una forma parabolica. Questo permise a Galileo di calcolare, ad esempio, l’inclinazione del cannone necessaria a produrre la massima gittata. Con Galileo la teorizzazione del modello balistico equivale a quello tuttora usato nella descrizione del fenomeno nel vuoto.

Se con Galileo la traiettoria dei proiettili assunse definitivamente la forma di parabola, fu Newton a perfezionarne il risultato scoprendo che tra i due rami della parabola, quello ascendente è maggiore di quello discendente per via della resistenza dell’aria.

CLESSIDRA

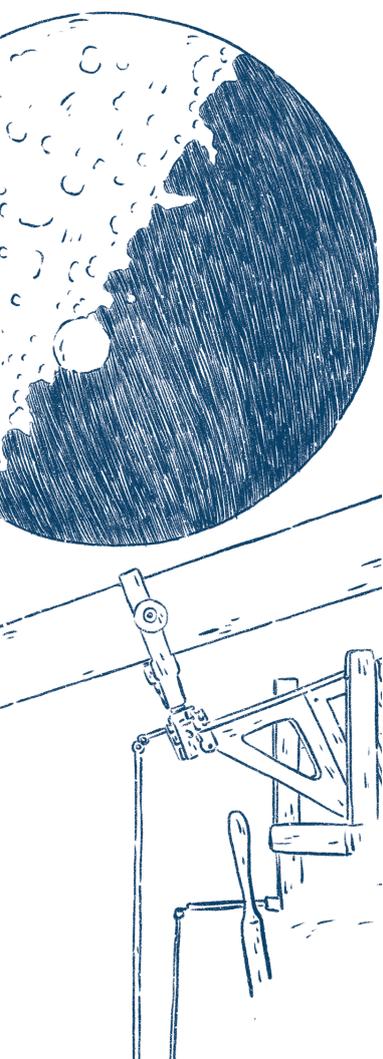
La parola clessidra (*clepsidra*, *clepsydra* o *klepsydra*) deriva dal greco e significa “ruba l’acqua”. In realtà lo strumento può funzionare sia ad acqua sia a sabbia.

La tipologia più comune è realizzata da due recipienti di forma a imbuto sovrapposti e comunicanti attraverso un piccolo foro. Lo scorrere della sabbia o dell’acqua è contemporaneo allo scorrere del tempo che si misura attraverso la quantità di materia che si sposta da un recipiente all’altro attraverso lo stretto passaggio.

Non è uno strumento di grande precisione perché vari fattori come l’umidità, l’attrito nella parte stretta, ma anche la pressione, sono variabili che modificano l’andamento del flusso.

Si utilizzava già in Egitto per determinare, ad esempio, i turni di lavoro: sappiamo che i Romani la utilizzarono specialmente come “orologio” trasportabile.

Galileo si serviva della clessidra per determinare intervalli di tempo nei suoi esperimenti con il pendolo o i piani inclinati.



ISOCRONISMO DEL PENDOLO

L'espressione deriva dal greco *isos* = uguale e *chronos* = tempo. Questo esperimento è stato fatto da Galileo e descritto nel "De motu" del 1592.

Se noi prendiamo due sfere, una di legno e una di ferro e le sospendiamo su due fili dello stesso tipo e alla stessa lunghezza e le lasciamo oscillare, quella di legno si arresterà prima.

I due oggetti di materia diversa oscillano indipendentemente dall'ampiezza del tempo che ci vuole per oscillare. Da questo esperimento si nota che le frequenze sono le stesse.

Questo ci dice che Galilei aveva un'idea chiara dell'isocronismo del pendolo, che serviva ai fini sperimentali per dividere il tempo in parti uguali.

Questi esperimenti furono utili a Galilei per dare una misurazione del tempo per mezzo del pendolo e non più con meridiane e clessidre poco precise.

Galileo ebbe modo di osservare una lampada votiva oscillare dalla lucerna della Cattedrale di Pisa e calcolò i tempi di oscillazione misurando il tempo tramite il proprio battito cardiaco.

PENDOLO CON REGOLAZIONE DI ALTEZZA

Il principio della "conservazione della quantità di moto" o "principio di Galileo" permette di stabilire il rapporto tra le lunghezze di un pendolo e il suo periodo (= intervallo temporale corrispondente alla lunghezza d'onda).

Galileo mette vicino due pendoli, uno con lunghezza fissa e l'altro con la possibilità di accorciare il filo della metà rispetto all'altro. Il pendolo che ha il filo più lungo dell'altro ha un periodo che è il doppio. È possibile verificare questa teoria portando le due sfere poste all'estremità dei fili fuori dall'equilibrio e lasciandole contemporaneamente, avendo modo di calcolare il tempo delle oscillazioni.

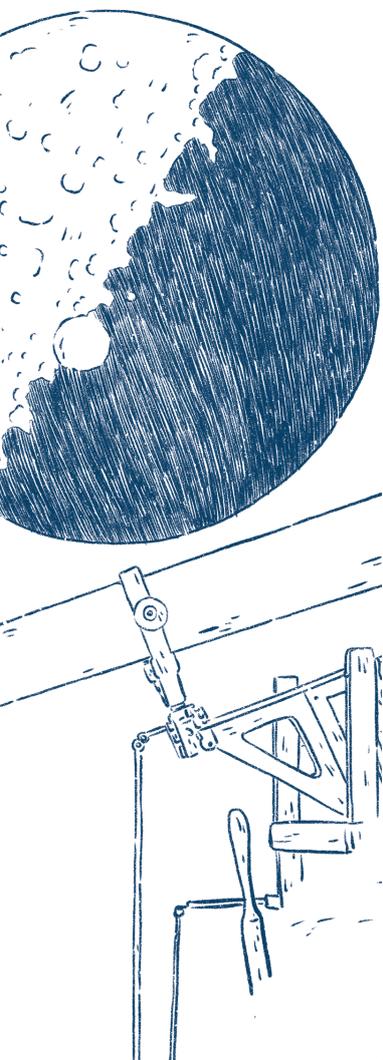
Si può, inoltre, vedere la conservazione della quantità di moto, fissando un pendolo al soffitto o a una trave molto alta e tracciando una linea orizzontale al muro in corrispondenza del punto in cui si lascia l'oscillatore: questo, dopo la fluttuazione, tornerà al punto della linea. Il periodo di oscillazione di un pendolo è l'intervallo di tempo impiegato dalla massa a compiere una variazione intera. Per oscillazione intera si intende la partenza della massa dalla sua posizione iniziale e il ritorno nella stessa.

MODELLO DI ERATOSTENE

Nel III secolo a.C. Eratostene di Cirene misurò la circonferenza della Terra senza l'aiuto di strumenti tecnologici.

Per farlo utilizzò un bastone piantato verticalmente (gnomone) in un terreno perfettamente pianeggiante, sul quale osservò i movimenti terrestri rispetto al Sole grazie alle ombre che si proiettavano sul piano.

Prese come punti di riferimento Siene (attuale Assuan) perché i raggi solari, nel giorno del solstizio d'estate, a mezzogiorno cadevano perpendicolari alla superficie. Nello stesso giorno Eratostene fece misurare l'ombra del bastone ad Alessandria, città distante 924,25 chilometri. Così stabilì che la direzione



dei raggi solari formava un angolo di $7,2^\circ$ con la verticale. Da questo esperimento Eratostene dedusse che la circonferenza della Terra doveva essere 50 volte la distanza tra Alessandria e Siene, quindi 39.000 chilometri.

L'esperimento di Eratostene mostra l'efficienza del metodo scientifico. Alla base di questo metodo, che conduce a risultati che tutti possono verificare ripetendo l'esperimento, c'è un modello matematico.

OROLOGIO

Nel 1636, Galilei progettò un dispositivo che utilizzava le proprietà di un pendolo come misuratore del tempo.

Nel 1641 lo scienziato pisano pensò che fosse possibile aggiungere un pendolo a un orologio con pesi e molla. Galileo raccontò questi piani al figlio Vincenzo, avendo problemi alla vista che non gli permettevano di realizzare autonomamente il progetto.

Padre e figlio decisero di costruire un meccanismo con un ingegnoso scappamento a orologio e per farlo il figlio di Galilei si rivolse a un allievo di suo padre: Vincenzo Viviani. Quest'ultimo elaborò un disegno e in una lettera a Leopoldo de' Medici del 20 agosto 1659 dette un puntuale resoconto dell'invenzione dell'applicazione del pendolo all'orologio da parte dello scienziato pisano.

PALLA DI CANNONE E ESPERIMENTO DI GALILEO SULLA CADUTA DEI GRAVI

Galileo espose le sue idee perfezionate sulla caduta dei gravi, e sui proiettili in generale, nel suo libro *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali* (1638). Le due scienze erano la scienza del movimento, che divenne la pietra angolare della fisica, e la scienza dei materiali e delle costruzioni, un importante contributo all'ingegneria.

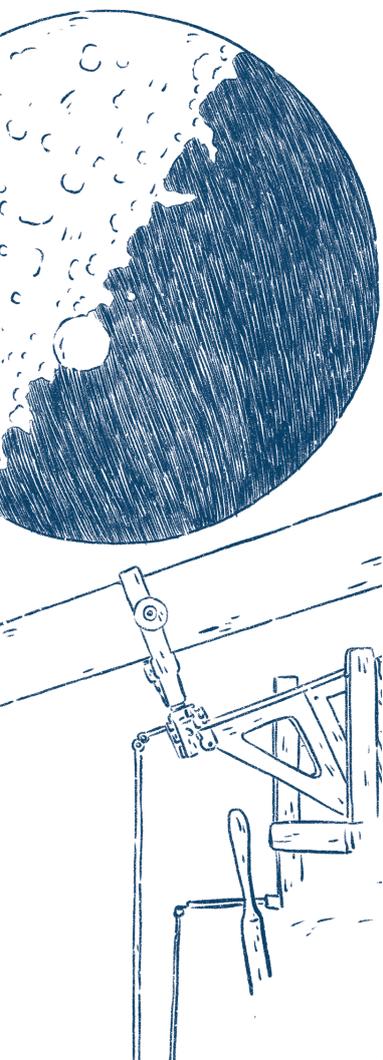
Galileo arrivò a formulare la sua ipotesi sulla caduta dei gravi attraverso il celebre esperimento della Torre di Pisa, citato dalle cronache popolari e da Vincenzo Viviani, ma non del tutto documentato al punto che molti studiosi lo ritengono puramente teorico.

Infatti, quando le cronache affermano che l'esperimento ebbe luogo, Galilei in realtà non aveva ancora formulato la versione definitiva, ma ebbe solo un'intuizione, secondo la quale due corpi dello stesso materiale, seppure di dimensioni diverse, sarebbero caduti alla stessa velocità qualora lanciati dalla stessa altezza, andando a confutare così le teorie aristoteliche.

PARADOSSO MECCANICO

Il paradosso meccanico, che impressionò ai tempi di Galileo e impressiona ancora oggi, è composto da un doppio cono capace di rotolare su un piano inclinato particolare, creato da due fianchi convergenti. Alloggiando il corpo bi-cono nella parte più bassa della struttura, in cui i due piani convergono, esso inizia a rotolare verso la parte più alta fino a trovare un punto di equilibrio.

Questo spostamento in apparente controtendenza, si spiega grazie alle proprietà fisiche a cui risponde, quella del baricentro dei gravi, che tende ad andare verso il basso. La forma conica e la divergenza dei piani creano il movimento del doppio cono. Il centro di gravità del doppio cono, infatti, scende, mentre sembra che il corpo proceda verso il punto più alto della struttura.



PENDOLO

Nel 1592 Galileo Galilei, osservando le oscillazioni compiute da una lampada appesa al soffitto nel Duomo di Pisa, capì che il suo movimento doveva essere regolato da leggi ben precise. Il suo studio iniziò misurando il tempo, in cui questa lampada passava da un punto A a un punto B, utilizzando il battito del polso. Successivamente, riprodusse questi esperimenti in laboratorio utilizzando tecniche più precise.

Lo scienziato si accorse che, mentre l'ampiezza delle oscillazioni e la velocità del pendolo variavano, la durata di una oscillazione rimaneva sempre uguale. A causa dell'attrito, il pendolo perde velocità e proporzionalmente l'ampiezza delle oscillazioni, per cui il tempo impiegato è sempre uguale (isocronismo del pendolo).

Il tempo con cui un pendolo semplice compie un'oscillazione non dipende né dalla massa, né dalla ampiezza dell'oscillazione, ma dalla lunghezza del pendolo e dall'accelerazione a cui è sottoposta. Il Periodo del Pendolo è il tempo necessario al corpo sospeso per compiere un'oscillazione completa.

PENDOLO PER MISURARE IL SECONDO

Un pendolo può essere usato come strumento per misurare gli intervalli di tempo, per esempio come misuratore delle pulsazioni cardiache e viceversa. Galileo, a soli 17 anni, mentre si trovava nel Duomo di Pisa, riuscì a misurare le oscillazioni di un candeliere attraverso il battito del suo polso e, grazie a osservazioni ripetute, riuscì a concludere che il battito cardiaco è solo uno degli orologi biologici.

Le oscillazioni di un pendolo semplice lungo un metro durano quasi esattamente un secondo? Diversi fisici hanno rilevato una curiosa coincidenza: nonostante le unità di tempo e lunghezza dell'Accademia di Francia - il secondo e il metro - siano

tradizionalmente considerate indipendenti l'una dall'altra, un pendolo semplice di lunghezza unitaria di un metro batte virtualmente il secondo in ogni oscillazione.

È davvero curioso scoprire allora che un pendolo semplice lungo un metro batte virtualmente il secondo, nel senso che ogni sua oscillazione (metà del periodo) dura approssimativamente un secondo.

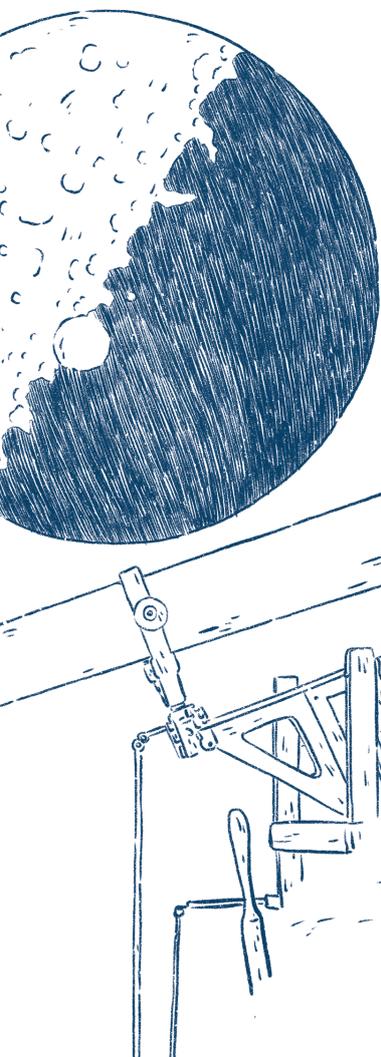
Nel 1641, Galileo propose l'utilizzo del pendolo come meccanismo regolatore degli orologi, e ne abbozzò un progetto. Ormai vecchio e cieco, non riuscì a realizzarlo, e l'orologio a pendolo venne costruito solo nel 1657, da Christiaan Huygens.

PIANO INCLINATO RETTO

Galileo eseguì l'esperimento del piano inclinato nel 1604. L'esperimento di Galilei dimostra che un corpo in caduta libera si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato. L'uso del piano inclinato serve per rallentare la "caduta" dei corpi così da poter migliorare l'osservazione del moto.

Quanto maggiore è l'inclinazione, tanto più la sfera si avvicina al moto in caduta libera.

L'esperimento può essere svolto sincronizzando la caduta della sfera con l'oscillazione del pendolo e dividendo il piano inclinato in tante parti uguali in un solco e in parti che seguono le progressioni dei numeri dispari nell'altro solco. Possiamo ascoltare come il suono dei campanelli sia ritmico o progressivo a seconda del



solco scelto fino a capire che la sfera percorre spazi diversi in tempi uguali e spazi uguali in tempi diversi. Questo avvalorò la teoria sulla Legge dei Gravi di Galileo, che è oggi dimostrabile con l'equazione oraria del moto uniformemente accelerato.

PIANO INCLINATO CURVO - DIMOSTRAZIONE DEL MOTO PARABOLICO DEL PROIETTILE

Per dimostrare la legge descritta da Galilei sul moto parabolico dei proiettili, lo scienziato olandese Willem Jacob's Gravesande intorno al 1730 realizzò un piano inclinato particolare, che successivamente divenne di uso frequente nei Gabinetti di Fisica.

Una sfera, liberata nel canale del piano inclinato, acquista una certa velocità (moto orizzontale) a cui si aggiunge l'accelerazione di gravità (moto di caduta).

La composizione dei due moti dà luogo alla traiettoria parabolica, che si osserva dal passaggio della pallina attraverso gli anelli fissati lungo il disegno di una parabola.

Il moto di un oggetto lanciato in orizzontale è la sovrapposizione di due moti: un moto rettilineo uniforme orizzontale e un moto rettilineo uniformemente accelerato verticale. La traiettoria di un oggetto lanciato in orizzontale è una parabola con il vertice nel punto di lancio.

MODELLO COPERNICANO DEL SISTEMA SOLARE

Questo modello rigido, realizzato in laboratorio, rappresenta la distribuzione dei pianeti che ruotano intorno al Sole secondo le teorie copernicane. Nel 1543 l'astronomo polacco Niccolò Copernico con il suo *De Revolutionibus orbium coelestium* spiegò la corretta visione del sistema solare: è il Sole e non la Terra a essere al centro del sistema solare e dell'Universo.

La pubblicazione del *De Revolutionibus* causò aspre polemiche nella Chiesa protestante. Il libro conteneva una prefazione non firmata in cui si sosteneva che il Sistema descritto da Copernico (ormai morto) era semplicemente un modello matematico, che non voleva rappresentare la realtà. Grazie a tale prefazione, il lavoro dello scienziato non creò discussioni nei successivi settant'anni.

"Il Sole sta immobile vicino al centro del sistema solare e dell'universo. Tutti i pianeti ruotano attorno al centro dell'orbita terrestre, che è il centro del sistema solare e dell'universo".

Nel modello i pianeti distano in modo proporzionato al Sole, dal più vicino Mercurio al più lontano Nettuno.

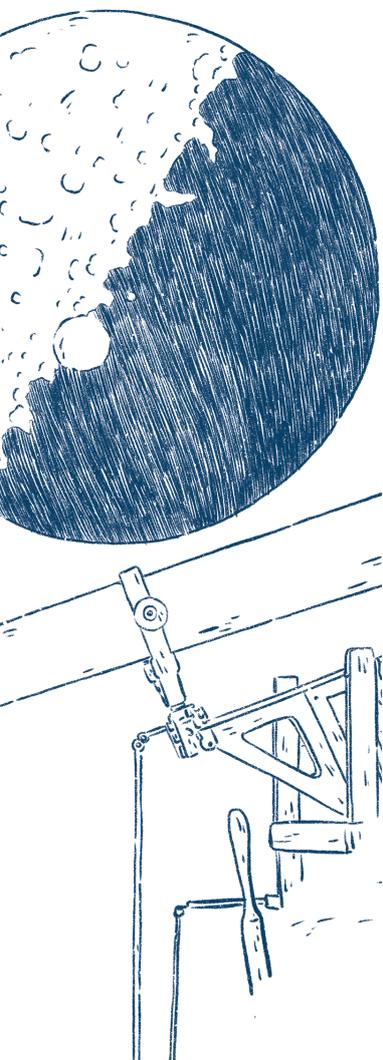
La teoria eliocentrica di Copernico fu in seguito rivisitata da Galileo Galilei, che nel 1612 dedusse che il Sole doveva ruotare sul proprio asse con velocità uniforme.

PLANETARIO A SOFFITTO E LE IDEE COPERNICANE

Il cannocchiale permise a Galileo di condurre una serie di osservazioni astronomiche che fecero acquisire nuove e più precise informazioni sull'aspetto e i movimenti della Luna, sulle macchie solari, sulla composizione della Via Lattea.

Inoltre scoprì i quattro maggiori satelliti di Giove.

Gli studi e le osservazioni fecero di Galileo un copernicano convinto sin da giovane, ma prima di sostenere pubblicamente la sua teoria aspettò di diventare famoso perché temeva, come



disse lui stesso in una lettera, di fare la fine di Copernico, coprirsi di ridicolo e farsi fischiare. Infatti quando Galileo iniziò a difendere pubblicamente le tesi copernicane fu ammonito dalla Chiesa e gli venne ordinato di abbandonare del tutto quella dottrina e di non insegnarla, non difenderla e non trattarla.

Tuttavia, nel 1632 Galileo pubblicò il Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, un'opera in forma di dialogo in cui la sua adesione alla teoria copernicana era evidente.

Lo scontro con la Chiesa divenne definitivo e Galileo fu processato e condannato a disconoscere il suo lavoro pena la morte.

PLANETARIO TOLEMAICO

Il sistema geocentrico aristotelico-tolemaico, che concepisce la Terra al centro dell'Universo, fu per molti secoli il sistema cosmologico di riferimento, accettato per quasi due millenni fino al Rinascimento. Tale sistema fu proposto nel IV secolo a.C. dall'astronomo greco Eudosso di Cnido, discepolo di Platone che elaborò la "dottrina delle sfere omocentriche".

Secondo la teoria tolemaica, la Terra è immobile al centro dell'Universo e ha forma sferica, mentre i corpi celesti si trovano su sfere concentriche e si muovono di moto circolare (perfetto, immutabile ed eterno), compiendo un complicato moto di rivoluzione.

Le stelle e i pianeti ruotano su piccole orbite circolari, dette epicicli, i cui centri descrivono intorno alla Terra un'orbita più ampia, detta deferente.

I cinque pianeti allora conosciuti Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno, più la Luna e il Sole, sono solidali ciascuno a una sfera con la quale ruotano con moto uniforme attorno alla Terra.

SEZIONE DEL CANNOCCHIALE

Questo modello permette l'osservazione dell'interno del Cannocchiale di Galileo Galilei, costituito da due lenti (una positiva e una negativa) poste alle estremità di un tubo, una con funzione di obiettivo e l'altra di oculare.

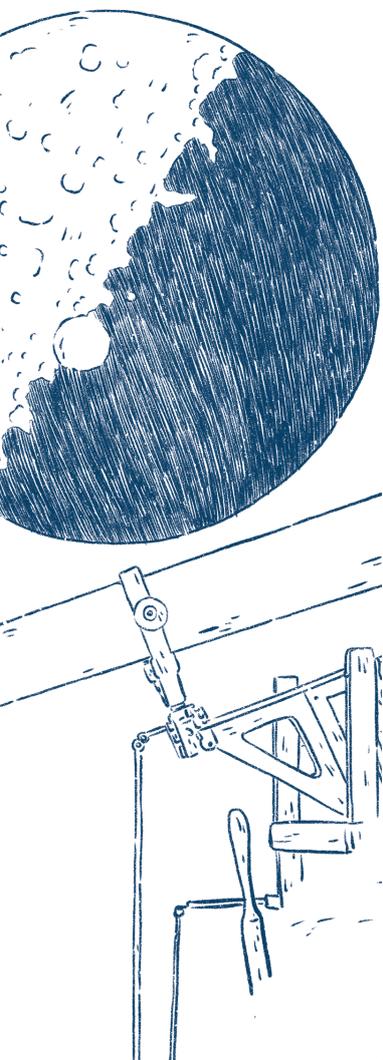
Il suo primo cannocchiale, realizzato intorno al 1609, era capace di aumentare l'ingrandimento di 3 volte e il 21 agosto di quell'anno, alla presenza del Doge, presentò uno strumento da 8 ingrandimenti, che gli valse la conferma a vita della cattedra padovana di matematica con mille fiorini all'anno di stipendio.

Galileo migliorò sempre di più il sistema di lenti che portò il cannocchiale a una capacità di ben 20 ingrandimenti, il più potente di tutti quelli circolanti in Europa a quel tempo.

TELESCOPIO (Cannocchiale)

Il telescopio (dal greco *tele*, lontano, e *skopéō*, vedere) fu perfezionato da Galileo Galilei nel 1609, migliorando uno strumento ottico olandese, costituito da un tubo munito da due lenti poste alle estremità, che permetteva di ingrandire gli oggetti lontani.

Con il telescopio Galilei poté confermare la teoria copernicana secondo la quale la Terra non è immobile al centro dell'Universo, ma ruota su se stessa e orbita intorno al Sole. Galileo realizzò due telescopi: il primo, composto da un tubo formato da due parti cave semicircolari, tenute insieme da un filo di rame e rivestito da



carta, poteva ingrandire gli oggetti di 14 volte; il secondo, composto da un tubo in legno rivestito di pelle rossa alle cui estremità sono inserite due sezioni separate che portano l'obiettivo e l'oculare, poteva ingrandire gli oggetti di 21 volte.

TERMOMETRO DI GALILEO

Questo termometro, ideato da Galileo ma perfezionato dai suoi allievi e studiosi presso l'Accademia del Cimento, è utile a misurare la temperatura atmosferica. È costituito da un contenitore di vetro posto in verticale e riempito di alcool; al suo interno, sospese nel liquido, vi sono delle ampolline marcate con un valore di temperatura. Le ampolle contengono a loro volta un liquido colorato, per osservarle distintamente.

Dopo che il termometro rimane nello stesso ambiente per il tempo necessario allo stabilizzarsi della temperatura, si avranno due gruppi di ampolle, uno vicino alla base e l'altro nella parte superiore. La temperatura ambiente corrisponderà al valore portato dalla boccetta più in basso tra quelle più in alto.

Il termometro di Galileo sfrutta il principio di Archimede, ovvero se abbiamo due corpi (o fluidi) di densità differenti, quello con densità minore tenderà a salire, mentre quello con densità maggiore tenderà a scendere.

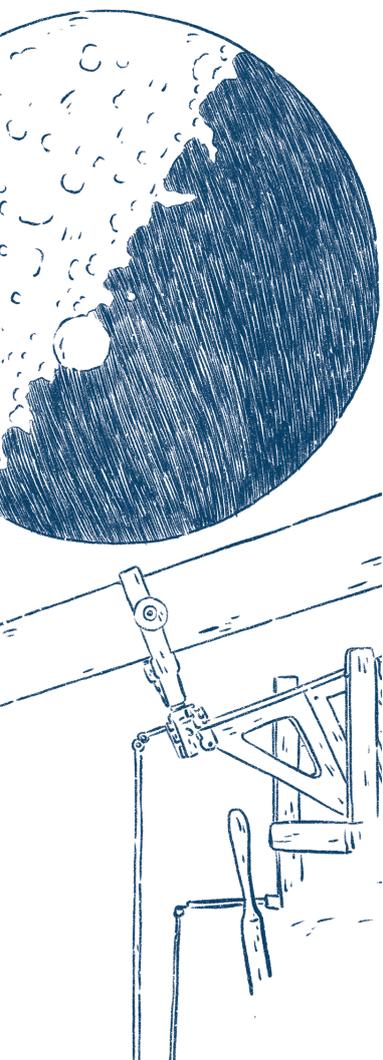
PROVA DI GITTATA - GALILEO E IL MOTO DEL PROIETTILE

La scoperta fatta da Galileo nel 1604 sulla legge di caduta dei gravi fu importante per i suoi studi sul moto parabolico dei proiettili.

Lo scienziato dimostrò che la traiettoria parabolica risultava dalla composizione di due movimenti: uno orizzontale a velocità costante (rettilineo uniforme) e l'altro verticale e uniformemente accelerato dovuto alla gravitazione.

Le parole di Galileo contenute nell'opera "Discorsi e Dimostrazione matematiche intorno a due nuove scienze" furono: "Immagino di avere un mobile lanciato su un piano orizzontale, rimosso ogni impedimento: già sappiamo, per quello che abbiamo detto più diffusamente altrove, che il suo moto si svolgerà equabile e perpetuo sul medesimo piano, qualora questo si estenda all'infinito; se invece intendiamo [questo piano] limitato e posto in alto, il mobile, che immagino dotato di gravità, giunto all'estremo del piano e continuando la sua corsa, aggiungerà al precedente movimento equabile e indelebile quella propensione all'ingiù dovuta alla propria gravità: ne nasce un moto composto di un moto orizzontale equabile e di un moto deorsum naturalmente accelerato, il quale [moto composto] chiamo proiezione.

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



Caricando la pallina a vari gradi di potenza è possibile osservare (anche creando dei video-clip con il telefono in slow motion) le varie traiettorie, che variano a seconda dell'inclinazione e dalla potenza di fuoco.