



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Fisica e Astronomia "Galileo Galilei"

Tesi di Laurea Triennale

Del Corso di Studio di Astronomia

RICERCHE STORICHE SUGLI STRUMENTI DI GEODESIA POSSEDUTI DALLE COLLEZIONI DELL'UNIVERSITA' DI PADOVA

Relatore: Prof. Giulio Peruzzi

Correlatore: Dott.ssa Sofia Talas

Studentessa: Francesca Brotto

Matricola: 1068166

ANNO ACCADEMICO 2017/2018

INDICE

INTRODUZIONE	5
EXCURSUS STORICO	6
LA GEODESIA A PADOVA.....	12
GABINETTO DI FISICA	12
GABINETTO DI GEODESIA.....	12
SCHEDA TECNICHE.....	16
SCHEDA TECNICA 1: PERACTOR, COSTRUITO DA ELIAS ALLEN, INIZIO XVII SECOLO	17
SCHEDA TECNICA 2: TEODOLITE RIPETITORE, COSTRUITO DA TROUGHTON AND SIMMS, 4/4 XIX SECOLO	23
BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA.....	28

INTRODUZIONE

Il presente studio intende dapprima percorrere le tappe principali della storia della geodesia, disciplina che si occupa della misurazione della Terra per poi porre l'attenzione sugli strumenti, principalmente matematici, che sono stati utilizzati per la mappatura della superficie terrestre. In particolare verrà presentato il Gabinetto di Geodesia, creato nel XIX secolo, e il Gabinetto di Fisica dell'Università di Padova, istituito nel XVIII. Il Museo di Storia della Fisica di Padova raccoglie gli strumenti provenienti dal Gabinetto di Fisica, mentre gli oggetti del Gabinetto di Geodesia non fanno parte di una collezione o di un museo riconosciuti dall'Ateneo e non sono quindi inseriti nello statuto del Centro di Ateneo per i Musei (CAM), ma rientrano nella straordinaria quantità di materiale non ancora completamente noto, studiato e catalogato che esiste presso l'Università di Padova. Queste collezioni o oggetti diffusi possono essere annoverati a pieno titolo come patrimonio storico dell'Ateneo. Il primo studio sistematico condotto per avere un elenco delle collezioni "sommerse" dell'Ateneo di Padova è il progetto *"Scattered Collections"*, avviato nel 2015, il cui responsabile scientifico è il professore Giulio Peruzzi, l'ideatrice e coordinatrice la dottoressa Sofia Talas, e le collaboratrici Fanny Marcon e Giulia Nicchio, titolari di un assegno di ricerca nell'ambito del progetto.

La tesi è così suddivisa:

- Un excursus storico iniziale si compone di un'introduzione all'argomento, una breve rassegna degli strumenti di origine antica e alcuni esempi di quelle che erano le possibili misure che si potevano fare grazie a questi semplici strumenti. Si focalizzerà l'attenzione soprattutto sul periodo compreso tra il XVI e il XVII secolo, per inquadrare il contesto che in Europa portò grandi innovazioni negli strumenti di Geodesia.
- Una seconda parte si concentrerà sulla Geodesia a Padova partendo da una breve introduzione storica sul Gabinetto di Fisica, istituito nel Settecento, che cedette alcuni strumenti al Gabinetto di Geodesia che venne creato nell'Ottocento, inserito poi nella nascente Scuola di Ingegneria. Verranno inoltre brevemente illustrati gli strumenti presenti nel Gabinetto di Geodesia, "riscoperti" grazie al progetto *"Scattered Collections"*;
- Un ultimo capitolo riguarderà la descrizione di due strumenti, detti teodoliti, uno collocato presso il Museo di Storia della Fisica dell'Università di Padova e un altro scelto tra i 400 oggetti della Collezione di geodesia e topografia del Dipartimento di ingegneria civile, edile e ambientale (DICEA). Le schede tecniche dei due oggetti comprenderanno la storia degli strumenti e del loro costruttore, la descrizione degli oggetti stessi e del loro funzionamento.

EXCURSUS STORICO

La **Geodesia**, dal greco *geo-daisia* cioè divisione della terra, in origine era l'arte di dividere i terreni (oggi la chiameremmo agrimensura). Oggi la geodesia comprende vari ambiti di ricerca. Uno di questi è la determinazione dell'esatta forma della Terra per poterla poi riprodurre attraverso modelli matematici, in stretta correlazione con lo studio del campo gravitazionale e dei fenomeni geodinamici. Un secondo ambito di ricerca è quello della demarcazione di punti sulla superficie terrestre attraverso le misurazioni di latitudine e longitudine fissato un meridiano fondamentale. Nonostante la geodesia sia completamente maturata nel XIX secolo, la ricerca della comprensione della forma della Terra e di un metodo per determinare un punto sulla sua superficie comincia nell'antichità. La Geodesia, assieme all'Astronomia e alla Geografia, è una scienza che ha origini antiche, si può dire che esista da quando l'uomo ha preso coscienza di sé stesso e del pianeta in cui vive.

La forma pressoché sferica della Terra fu riconosciuta fino dall'antichità. *Eratostene di Cirene*, vissuto nel II secolo a.C., utilizzò un semplice strumento (lo gnomone) e dei calcoli matematici per determinare la circonferenza della Terra. Vi erano diverse prove che la Terra fosse una sfera, nonostante in apparenza potesse risultare piatta: ad esempio guardando il cielo, un osservatore che si sposta da nord a sud può notare che le costellazioni circumpolari e il polo si abbassano gradualmente; durante un'eclissi di Luna si può osservare l'ombra di una Terra sferica; osservando una nave all'orizzonte quello che appare è la parte superiore prima dello scafo.

Prima di provare a risolvere il problema dell'esatta forma terrestre, era comunque necessario capire come rappresentare la posizione di un punto sulla superficie terrestre. Fino dall'antichità si sentì di fatto il bisogno di mappare le terre conosciute e di stabilire le posizioni dei luoghi.

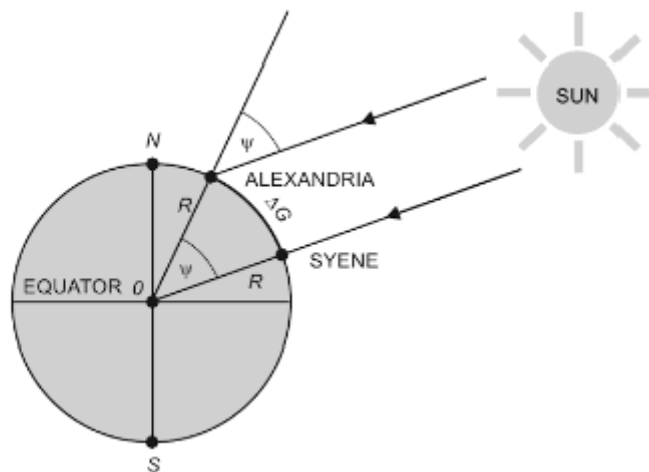
Il miglior metodo per rappresentare un punto su una sfera consiste nell'uso di riferimenti e distanze lineari o angolari. Le **coordinate** corrispondono ai valori delle distanze lineari o angolari rispetto ai riferimenti. In particolare, le **coordinate geografiche** coincidono con le coordinate sferiche e identificano un punto sulla superficie della Terra mediante un meridiano di riferimento e due angoli: la longitudine e la latitudine. Nonostante nell'antichità non si avesse ancora una chiara definizione matematica delle coordinate e dei sistemi di riferimento, che si avrà solo nel XVII secolo, alcuni studiosi dell'antica Grecia riuscirono a disegnare carte geografiche della Terra abitata. Per esempio, *Tolomeo* (100-175 a.C.) disegnò carte geografiche basate proprio sull'impiego di coordinate

geografiche. Nel trattato "Geografia" egli elencò 8000 località con relative latitudini e longitudini, utilizzando come meridiano di riferimento quello passante per le isole Fortunate (attuali Canarie).

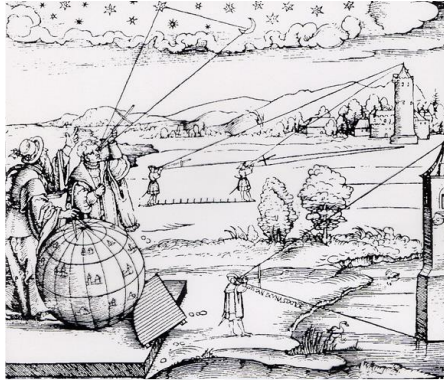
Gli strumenti, con cui venivano fatte le misurazioni lineari e angolari allo scopo di disegnare mappe, erano allora semplici e i calcoli elementari.

Alcuni strumenti del geodeta dell'Antichità e del Medio Evo sono i seguenti:

- Lo **gnomone**, con cui si eseguivano le prime misure angolari nell'antichità. Elaborato dalla cultura babilonese esso consentiva di fare misure sulla base dell'ombra che proiettava. Eratostene di Cirene utilizzò questo strumento e calcoli matematici per determinare la circonferenza della Terra. Misurò l'angolo che i raggi del Sole formavano con lo gnomone ad Alessandria e a Syene in uno stesso istante (quando a Syene il Sole era allo zenit), ipotizzando che si trovassero sullo stesso meridiano. A Syene i raggi non proiettavano alcuna ombra, essendo il Sole direttamente perpendicolare. L'angolo misurato ad Alessandria era pari a $1/50$ di cerchio e considerando che era uguale all'angolo al centro della Terra che sottende la distanza Alessandria-Syene, concluse che la circonferenza della Terra era pari a 50 volte 5000 stadi ovvero 250000 stadi corrispondenti a circa 40000 km.



- Il **baculo o bastone di Giacobbe**, inventato dal Rabbino Levi ben Gerson (1288-1344) nel XIII secolo, è costituito da due aste collegate tra loro ad angolo retto, e veniva impiegato per misurare la distanza tra due punti inaccessibili. Si avvicinava all'occhio l'estremo dell'asta più lunga e si faceva scorrere l'asta più piccola finché i suoi estremi non si sovrapponevano con i due punti fissi di cui si voleva conoscere la distanza angolare.



- L'**odometro**, uno strumento di epoca preromana utilizzato per misurare le distanze sul terreno. Consiste in una ruota di circonferenza nota imperniata su un apposito manico che viene spinta a mano. Girando, la ruota trasmette il movimento a una coppia di lancette che indicano la distanza percorsa su un quadrante.

Questi strumenti rimasero pressoché immutati fino alla metà del XVI secolo circa.

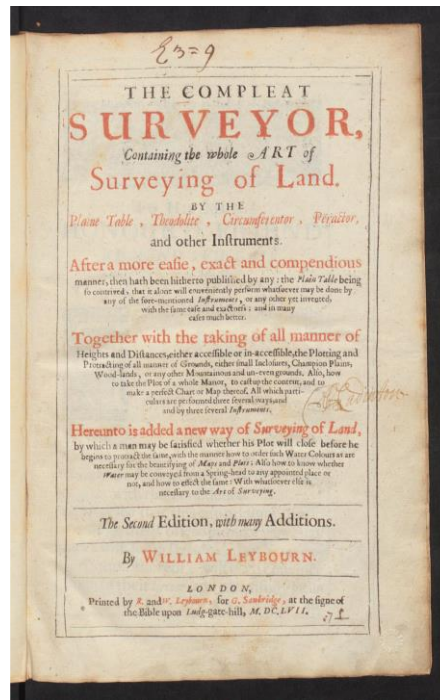
La base teorica utile a tracciare mappe dei territori si sviluppò nel XVII secolo e non subì grandi modifiche nei successivi trecento anni, mentre furono gli **strumenti** ad evolvere in precisione e compattezza.

Dal XVI secolo, in Europa, il bisogno di stabilire accuratamente le posizioni sia marittime che terrestri acquistò un'importanza economica sempre maggiore. Ciò avvenne quando le navi abbandonarono le sicure acque costiere e si avventurarono alla scoperta di nuovi territori inesplorati. Dopo la scoperta delle Americhe il topografo fu costretto a fissare la sua posizione rispetto alle stelle, competenze che erano simili a quelle possedute dal navigatore. C'era una forte richiesta di strumenti topografici che, per tracciare i confini delle colonie erano più complessi, e quindi necessitavano di conoscenze di astronomia. Ad esempio, la *Mason-Dixon line* è una linea di demarcazione tra quattro stati degli Stati Uniti d'America, che forma parte dei confini della Pennsylvania, del Maryland, del Delaware e della Virginia Occidentale. Venne tracciata nella seconda metà del XVIII secolo da *Charles Mason*, astronomo, e *Jeremiah Dixon*, matematico, per risolvere una disputa di confine tra le colonie britanniche. Anche nei territori nazionali, i sovrani, a partire dal XVII secolo, promossero grandi campagne di rivelazioni topografiche che diedero così un impulso decisivo allo sviluppo della topografia. La prima campagna fu intrapresa in Francia a partire dal 1666. Dal 1780 anche in Inghilterra si decise di effettuare un rilevamento del territorio nazionale. Già in precedenza, nel periodo dell'Umanesimo e del Rinascimento, l'espansione del commercio e della ricchezza aveva comunque contribuito all'affermazione della professione di topografo. Il

contesto sociale ormai richiedeva mappe sempre più chiare e misure di posizione sempre più scrupolose. Grazie al lavoro dei costruttori e allo sviluppo della trigonometria si costruirono strumenti sempre più complessi e precisi. Erano ormai necessarie grandi abilità, precisione, meticolosità e strumenti progettati per eseguire misure angolari nell'ambito degli stessi argomenti trattati da astronomi e naviganti. Durante tutto il XVIII secolo i principi della topografia assieme a quelli della navigazione furono tra gli argomenti più popolari insegnati nelle scuole. I costruttori di strumenti e i topografi dovevano possedere una buona conoscenza della matematica.

Un rilevamento topografico si effettua mettendo in evidenza la posizione di certi punti di riferimento sulla superficie della Terra per ricavarne una rappresentazione grafica dell'area in una scala ridotta. Il topografo deve effettuare una serie di misurazioni lineari e angolari usando diversi tipi di strumenti per lo più matematici e astronomici. Gli strumenti di topografia e gli strumenti per la navigazione erano molto simili; mappare una terra inesplorata dove esiste solo una fitta vegetazione è paragonabile al trovarsi in mare aperto. Per questo l'agrimensura è una professione per la maggior parte pratica, che utilizza le regole della trigonometria per costruire strumenti matematici che permettano misurazioni di angoli e che, attraverso osservazioni astronomiche, consentano di stabilire la posizione su una mappa. Il compito del topografo era anzitutto la misurazione di angoli. Egli collocava lo strumento atto a misurare gli angoli prima a una estremità della base di rilevamento e poi all'altra; conoscendo la lunghezza della base e sfruttando le leggi di similitudine dei triangoli calcolava le distanze. I suoi compiti non si esaurivano in questo: egli infatti doveva anche misurare altezze, profondità, orientamento e il raggiungimento di un livello.

Le nuove tecniche di misurazione angolare e l'abilità degli incisori nel tracciare carte e definire le scale graduate interessavano tutta l'Europa. Nel corso del XVII secolo vennero pubblicati dei manuali che conciliarono le esigenze pratiche del lavoro sul campo e gli strumenti ideati da matematici. Nel *"The Compleat Surveyor"* (1653), *William Leybourn* individuò e descrisse i tre strumenti più apprezzati dai topografi: il **teodolite**, la **bussola a traguardi** e la **tavoletta pretoriana**.

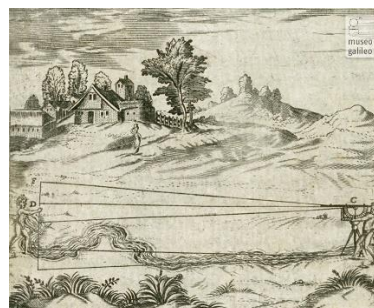


Nel testo Leybourn scrive:

“In the second Book, you have a general description of all the most necessary Instruments used in Surveying, as of the Teodolite, Circumferentor, PlainTable,..”

Questi strumenti erano molto più complessi, sia dal punto di vista teorico che dal punto di vista costruttivo, rispetto agli antichi strumenti che erano stati utilizzati nei secoli precedenti:

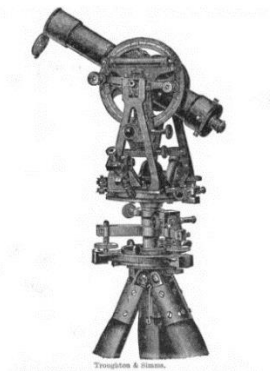
- La **livella** o **tubo a bolla** serve a misurare se un terreno è realmente tangenziale alla superficie della Terra. E' un tubo di vetro contenente del liquido con una bolla che funge da indicatore e un sostegno metallico con una scala graduata. La **livella topografica** è uno strumento composto da una livella che sta su un treppiede, un telescopio disposto parallelamente alla livella e una bussola. Nel tempo diverse modifiche furono apportate e nel XIX secolo la livella assunse una forma compatta e solida che necessitava solo di minime regolazioni da fare sul campo.



- La **tavoletta pretoriana** è tra gli strumenti più elementari. E' costituita da una tavola montata su un giunto universale con il bordo graduato che permette di tenere fermo un foglio di carta. Sulla carta si posa un'alidada che è dotata di scale graduate e di mire. A volte venivano aggiunte una bussola magnetica, una livella e un cannocchiale. Lo strumento permetteva di segnare direttamente i rilevamenti sul campo.



- Il **teodolite** è un misuratore di angoli e il suo più grande sviluppo risale al XVI secolo. E' uno strumento fondamentale per un geodeta e venne perfezionato da diversi costruttori nel corso degli anni. Inizialmente aveva l'aspetto di un cerchio orizzontale diviso in settori e graduato. Successivamente, il teodolite altazimutale fu in grado di misurare anche l'angolo di elevazione. Alla fine dell'Ottocento lo strumento raggiunse il suo apice sotto l'aspetto progettuale. Il teodolite poteva misurare angoli orizzontali tra due punti e il loro angolo di elevazione, presentava piccoli microscopi per leggere i noni, una bussola per l'orientazione, un telescopio e un tubo a bolla come nelle livelle topografiche.



LA GEODESIA A PADOVA

In Europa a partire dal Cinquecento ci fu un grande fermento per quanto riguarda gli studi di geodesia. A partire da questi anni anche Padova vide grandi innovazioni.

Gli oggetti che sono analizzati in questo studio sono due teodoliti che appartengono a epoche diverse. Questi strumenti facevano parte di due differenti collezioni dell'Università di Padova, il **Gabinetto di Fisica** e il **Gabinetto di Geodesia**. Per comprendere la storia di questi oggetti è necessario un accenno alla storia dei due Gabinetti.

GABINETTO DI FISICA

Il fondatore del **Gabinetto di Fisica** dell'Università di Padova è *Giovanni Poleni* (1685-1761), il primo ad avere la cattedra di Filosofia sperimentale di Padova istituita nel 1738. Proprio per svolgere al meglio questo incarico, lo studioso creò nel giro di alcuni anni una raccolta di strumenti scientifici destinata all'insegnamento e all'attività di ricerca. Questa strumentazione doveva continuamente essere adeguata in funzione degli sviluppi della scienza e per questo nei secoli successivi vennero acquisiti migliaia di nuovi apparecchi. Così, a partire dal lavoro di Poleni, si accumulò presso l'ateneo di Padova un patrimonio che oggi costituisce la collezione del **Museo di Storia della Fisica**.

Il Museo stesso è il risultato del lavoro di *Gian Antonio Salandin*, professore di Fisica dell'Università di Padova, che attorno al 1970 cominciò a raccogliere e a inventariare gli strumenti di Fisica dell'allora Dipartimento di Fisica. Poi, negli anni novanta aprì il Museo di Storia della Fisica. In questo Museo si possono trovare strumenti che vanno dall'epoca Rinascimentale fino alla metà del Novecento.

Il Gabinetto di Geodesia nacque proprio acquisendo alcuni strumenti dal Gabinetto di Fisica. Tra questi, sono ancora oggi presenti nella collezione del DICEA un odometro di George Adams, un ottante in ebano di Richard Lekeux, un grafometro a pinnule, un livello a pendolo appartenuto a Giovanni Poleni e un pantografo in cassetta.

GABINETTO DI GEODESIA

Oggi giorno, gli strumenti sopravvissuti del **Gabinetto di Geodesia** sono conservati presso la collezione di topografia e geodesia del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA), collocata in parte nei locali occupati dal Laboratorio di Rilevamento e Geomatica (LRG) e in parte in

una stanza situata all'interno della Torre Geodetica. La collezione fa parte di quello che si può chiamare il "patrimonio sommerso" dell'Università di Padova. Oltre ai musei e alle collezioni riconosciuti dall'Ateneo e inseriti nello statuto del Centro di Ateneo per i Musei (CAM), infatti, esiste una grande quantità di collezioni, gruppi di oggetti o oggetti singoli frutto della ricerca e della didattica condotte a Padova nel corso dei secoli fino ai nostri giorni. Proprio con lo scopo di riportare alla luce questo patrimonio dell'Università di Padova, è stato avviato nel 2014 il progetto "*Scattered Collections*". In un anno, il progetto ha permesso di far emergere 15 diverse collezioni che interessano ambiti diversi e vanno ad es. dalle collezioni di matematica a quelle di psicologia.

La collezione di topografia e geodesia conta tra i 300 e i 400 oggetti databili tra il Seicento e il Novecento, tra cui spiccano oggetti seicenteschi e settecenteschi di grande pregio. La collezione comprende anche interessantissime fotografie e mappe. La parte più antica della raccolta, con strumenti risalenti al periodo compreso tra il Seicento e l'Ottocento, è costituita principalmente da teodoliti, livelli, tavolette pretoriane, squadri agrimensori, barometri, bussole, cannocchiali terrestri e astronomici e strumenti per il disegno. Questi oggetti sono stati realizzati in diverse città sia europee che italiane quali Londra, Parigi, Vienna, Zurigo, Berlino, Monaco, e da meccanici padovani come Rodella, Rocchetti, Stefani, Tessarolo; parte della strumentazione proviene da Milano, costruita dalla Filotecnica di Angelo Salmoiraghi, dal Tecnomasio e da Alessandro Duroni. La collezione include anche strumenti meno antichi, ad esempio dei restitutori fotogrammetrici del Novecento.

Da notare il fatto che i primi professori di Geodesia erano astronomi. Così scrive *Giuseppe Toaldo* (1719-1797), professore di Astronomia, Geografia e Meteorologia nell'Università di Padova, nell'introduzione del suo testo "*Tavole trigonometriche con un compendio di trigonometria piana, e sferica, teorica, e pratica*" del 1773:

"Il bisogno di misurare una linea inaccessibile ha prodotto quella parte di Geometria, la quale per essere occupata intorno ai Triangoli, nel determinare, o inserire le une dalle altre le parti de' medesimi, Trigonometria fu chiamata. I Disegnatori, gl'Ingegneri, i Militari particolarmente, hanno bisogno di quest'arte per le linee di terra: ma se vi sono linee inaccessibili, ed a cui non si possa applicare la pertica, sono certamente quelle tirate colla mente da un Astro all'altro per gli spazi del Cielo. Onde essendo uffizio dell'Astronomia il determinare la misura di queste linee, e degli angoli tra loro; molto è probabile, che gli Astronomi, i primi, escogitassero la Trigonometria, che desse loro le ale per salire in Cielo; specialmente quella, che considera i triangoli circolari. Di fatto i primi vestigi

di questa scienza s'incontrano nell'Almagesto di Tolomeo; e gli Astronomi, che lo seguirono, la riguardarono sempre, com'è in fatti, qual parte dell'Astronomia."

Per comprendere la storia della collezione del **Gabinetto di Geodesia** e degli strumenti riscoperti con il progetto "*Scattered Collections*" è necessario ricordare quali sono stati i cambiamenti che interessarono la formazione dei tecnici in Veneto tra il Settecento e il Novecento.

Prima dell'introduzione degli ordinamenti napoleonici riguardanti l'istruzione superiore e la professione dell'ingegnere, nel 1806, mancava un regolamento atto a stabilire i criteri di formazione e le specifiche sulle mansioni degli ingegneri. Questi imparavano il mestiere tramite un apprendistato privato o presso alcuni poli di sviluppo delle tecniche legate alla professione, ad esempio presso l'Arsenale di Venezia. Gli ordinamenti napoleonici stabilirono dettagliatamente quali fossero le funzioni del tecnico, il quale, per l'esercizio del mestiere, era vincolato alla frequentazione di un corso universitario istituito all'interno della Facoltà Fisico-Matematica seguito da un periodo di tirocinio. Questi criteri vennero mantenuti anche durante il dominio austriaco.

Antonio Favaro (1847-1922), matematico, ingegnere e storico della scienza, afferma che fin dal 1815 il governo austriaco faceva impratichire gli studenti dell'Università di Padova con gli strumenti geodetici e che le esercitazioni venivano fatte con alcuni antichi materiali posseduti dal Gabinetto di Fisica. Favaro rende noto che nel novembre del 1836 fu istituita la nuova cattedra di Geodesia e Idrometria, e che il 15 marzo 1837 venne avviato il Gabinetto di Geodesia. Un documento, conservato nell'Archivio Antico dell'Università, fa però risalire l'istituzione del Gabinetto di Geodesia al 1811.

Gli ordinamenti napoleonici furono sostituiti tramite un decreto del 13 ottobre 1867 che stabiliva che gli aspiranti al diploma di ingegnere nelle provincie venete e di Mantova non sarebbero più stati ammessi a cominciare le pratiche sotto la direzione di privati ingegneri, ma, concluso il triennio di studi teorici all'interno della Facoltà matematica, avrebbero dovuto compiere gli studi pratici nel nuovo corso biennale istituito dalla Regia Università di Padova, oppure in una delle scuole d'applicazione per gli ingegneri del Regno d'Italia, o nel Regio Istituto Tecnico Superiore di Milano. Secondo Favaro questa nuova normativa sanciva l'istituzione della Scuola di applicazioni per ingegneri di Padova, tuttavia nel testo del decreto il nuovo corso biennale non venne mai qualificato come "Scuola di applicazioni". A partire dall'anno accademico 1871-72, il matematico *Domenico Turazza* (1813-1892) elaborò un nuovo assetto che prevedeva che gli studi teorici fossero ristretti al primo biennio e quelli pratici occupassero il secondo triennio, e nel 1876 fu introdotto un nuovo

Regolamento per le Scuole di applicazioni a livello nazionale che, di conseguenza, coinvolgeva anche Padova. La formazione degli ingegneri a Padova era allora curata dalla Facoltà di Matematica.

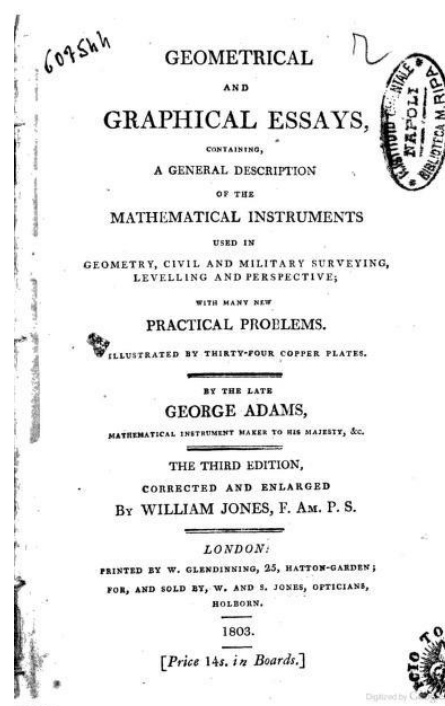
Il Gabinetto di Geodesia si era nel frattempo arricchito arrivando ad avere ben 325 strumenti e, in una pubblicazione del 1875 sui Gabinetti dell'Università di Padova, Favaro afferma che il Gabinetto di Geodesia è il più ricco d'Italia.

La sede della Scuola d'applicazione era inizialmente collocata al Palazzo del Bo, ma nel 1895 fu trasferita al Palazzo Cavalli. Nel 1923 venne istituita la Regia Scuola di Ingegneria di Padova, autonoma e separata dall'Ateneo, la quale sostituiva, ridefinendone i contenuti didattici, l'assetto organizzativo e il corpo docente, la precedente Regia Scuola d'applicazione per ingegneri annessa all'Università. Nel 1929 la Regia Scuola d'Ingegneria traslocò nel nuovo Edificio Donghi e nel 1933 cambiò denominazione, diventando Regio Istituto Superiore di Ingegneria di Padova. Infine, nel 1935 la Scuola, allora diventata Regio Istituto, venne riaggregata all'Università degli Studi di Padova come **Facoltà di Ingegneria**.

SCHEDE TECNICHE

Le schede tecniche che seguono riguardano la storia, la descrizione e il funzionamento di due tipi di teodoliti appartenenti a due epoche diverse. I teodoliti sono tra gli strumenti di topografia più completi e permettono di fare misurazioni di angoli orizzontali e verticali. La prima scheda tecnica riguarda un peractor, una forma di teodolite che si può far risalire alla prima metà del Seicento. La seconda scheda tecnica riguarda un teodolite dotato di cannocchiale del 1882.

Leonard Digges (1515-1559), matematico inglese che si occupò di topografia, è il probabile inventore del teodolite. E' il primo ad aver introdotto la parola "theodolitus" che in seguito diverrà theodolite, nel testo *Pantometria* pubblicato a Londra nel 1571 dal figlio *Thomas Digges* (1546-1595). Questo strumento è composto da un anello circolare o da un piatto diviso in 360° e da una alidada orientabile con i puntamenti a entrambe le estremità. Questo tipo di teodoliti venne in seguito chiamato "common theodolite" nel 1791 da *George Adams* (1750-1795), costruttore inglese di strumenti scientifici. Adams riserva invece il termine teodolite per gli strumenti dotati di telescopio con cerchio orizzontale e arco verticale, i quali furono introdotti a Londra negli anni venti del Settecento. Adams descrive il teodolite come strumento più preciso, nel suo testo "*Geometrical and Graphical Essays*" del 1791, perché grazie al telescopio è molto più semplice puntare l'oggetto, anche se molto distante, con grande precisione. In questi apparecchi vengono inoltre introdotti i noni.



SCHEDA TECNICA 1: PERACTOR, COSTRUITO DA ELIAS ALLEN, INIZIO XVII SECOLO



Collocazione: lo strumento è tra quelli riscoperti con il progetto “*Scattered Collections*” ed è collocato nel dipartimento DICEA. Fa parte della collezione originaria del **Gabinetto di Geodesia** dell’Università di Padova, di cui si hanno notizie certe a partire dal 1837 quando il Gabinetto acquista strumenti dal Gabinetto di Fisica. La collezione, composta tra l’altro da teodoliti, barometri, bussole e cannocchiali, mostra l’evoluzione della topografia e della geodesia dal Seicento al Novecento. Il peractor è stato inventariato nel 1870 con il numero 164, ma l’effettiva data d’ingresso nella collezione non è nota. In ogni caso, questo strumento risale alla prima metà del Seicento.

Vale la pena sottolineare che si conoscono solamente altri due esemplari di questo strumento: uno appartenente a una collezione privata non firmato, e un altro conservato al Museo del Louvre di Parigi e firmato “Elias Allen”.

Descrizione: Questo strumento è stato inventato da *Aaron Rathborne* (1572-1618) che lo descrive nel testo *The Surveyor* del 1616:

“This Book tendeth chiefly to matter of survey, wherein is first described and declared the severall Instruments, fit for that purpose (with their use in practise) as the Theodolite, the Playne Table, and Circumferentor, whereunto I have added an absolute Instrument, wich I call Peractor, together with the making and use of the Decimal Chayne, used only by myself”.

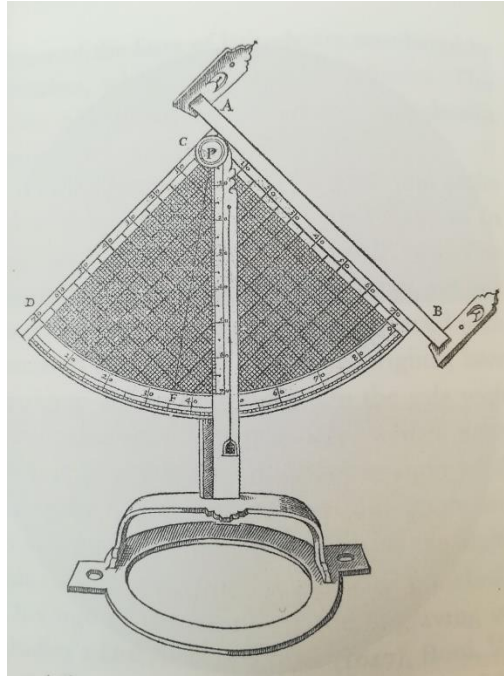
Lo strumento, in ottone, è costituito da due parti: la parte inferiore misura angoli orizzontali e la parte superiore misura gli angoli rispetto alla verticale. La parte inferiore è costituita da un cerchio azimutale su cui sono incise le lettere che indicano i punti cardinali e due scale graduate che partono entrambe dal Sud. La prima scala è di 360 gradi con i numeri ogni dieci gradi e le tacche che suddividono in cinque gradi, poi il grado suddiviso a sua volta in mezzo grado e in quarto di grado. La seconda va da 0 a 120 parti, con ogni singola parte suddivisa in mezzi e poi in quarti: ogni parte ha dunque un’ampiezza pari al triplo di un grado. Nel testo Rathborne descrive quest’ultima scala, spiegandone la corrispondenza con la scala da 0 a 360°, che era tipicamente usata nei teodoliti dell’epoca. Si trattava di fatto di un’alternativa interessante per la qualità della lettura. La scala da 0 a 120 parti viene così descritta da Rathborne nel seguente testo tratto da *The Surveyor* del 1616:

“It consisted of a *Planisphere* in brasse, much like unto that of the Theodolite, but where the limbe of that is divided into 360. parts or degrees; this is only into 120. (so that each of these containeth three of those) and these subdivided into halfes and quarters to wards the limbe thereof, without wich divisions, there are drawne and described three concentricke Circles, being crossed with Diagonals, by whose intersections are exactly expressed the third part of every degree; whereby, and by tripling the former degrees cut (if occasion require) is had exactly the degrees of the Theodolite considering that ten of these contain thirty of those [...]”

Da notare che Rathborne propone per il suo strumento solo la scala da 0 a 120, mentre il costruttore di questo esemplare ha voluto inserire anche la scala da 0 a 360°, all’epoca più diffusa per i teodoliti.



Sul cerchio inferiore è presente, come si può vedere dalla foto, l'incisione "**Elias Allen Fecit**", che indica il nome del costruttore, lo stesso di quello conservato al Louvre e che permette, come vedremo, la datazione dello strumento. Su questo cerchio è imperniata un'alidada che può ruotare attorno all'asse centrale; sull'alidada sono fissate due mire che, assieme alle due mire o pinnule fissate al cerchio azimutale in corrispondenza della direzione Nord e Sud, permettono di misurare gli angoli azimutali. Le pinnule fisse al cerchio sembrano essere state modificate rispetto a quello che dovevano essere in origine. Al centro di questo cerchio è posta una bussola che consente di orientare lo strumento. Sull'alidada è fissato un supporto che sostiene un indice verticale suddiviso in 100 parti. Su questo indice, secondo il disegno di Rathborne, dovrebbe essere attaccato un filo a piombo. Sul lato liscio del supporto dello strumento esaminato, è stato di fatto trovato un forellino su cui con alta probabilità era appeso in origine il filo, che è però mancante. L'indice sorregge a sua volta il vertice di un quadrante. Quest'ultimo può scorrere avanti e indietro, facendo perno sul vertice e ha l'arco suddiviso in 90° , a loro volta suddivisi in mezzi e in quarti gradi. I lati del quadrante sono ripartiti in 100 parti e ognuna di queste suddivisioni è l'estremo di un segmento inciso sul quadrante. L'insieme di questi segmenti va a formare una griglia su di una faccia del quadrante, mentre l'altra faccia del quadrante è liscia. Questo particolare quadrante, che costituisce la parte superiore dello strumento, serve a misurare gli angoli di elevazione. Rispetto allo strumento originale disegnato da Rathborne sembrano mancare le due mire che si possono invece notare nel disegno seguente tratto da *The Surveyor*.

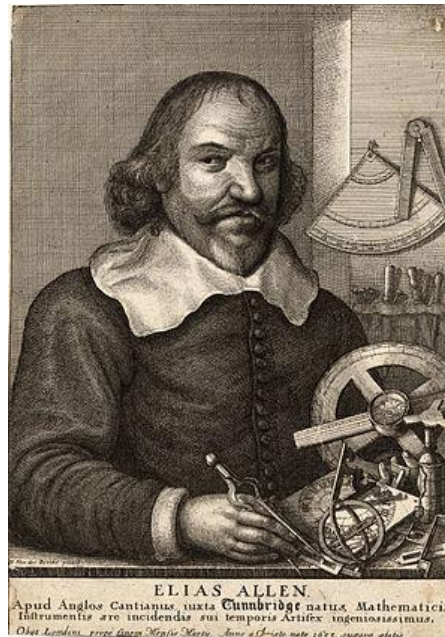


Da notare che le scale in questa figura sono leggermente diverse rispetto allo strumento dell'Università di Padova.

Costruttore: *Elias Allen* (1588-1653) era un prestigioso costruttore inglese che costruì strumenti anche per i re d'Inghilterra Giacomo I e Carlo I. Come abbiamo detto, questo strumento fu inventato da *Aaron Rathborne* (1572-1618) il quale lo descrisse ampiamente nel 1616 nella sua opera "*The surveyor in foure books*", citando esplicitamente Elias Allen come persona in grado di realizzare lo strumento:

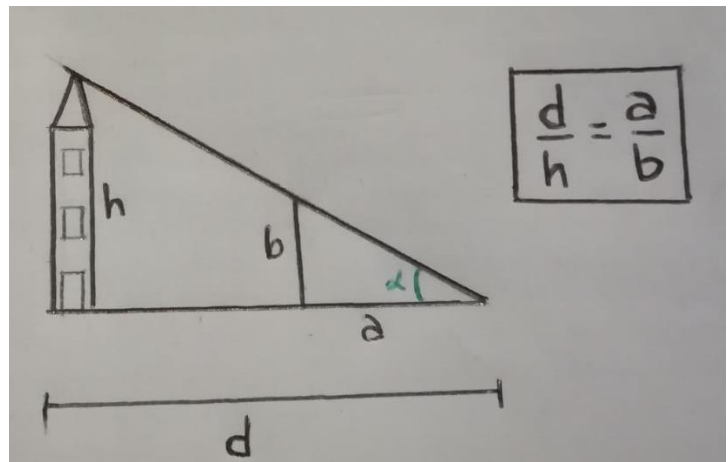
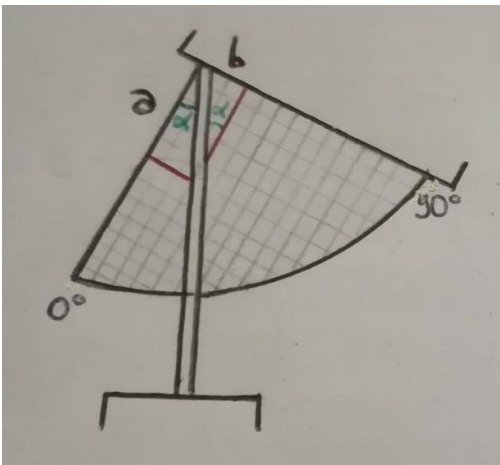
"The making of this instrument and the rest in brasse are wellknowne to M. ELIAS ALLEN in the Strand; and of those in wood to M. IOHN THOMPSON in Hosyer Lane."

Nell'unico ritratto noto di Allen è raffigurato proprio un peractor smontato. Allen iniziò il suo apprendistato nel 1602, imparando il mestiere da *Charles Whitwell* (1568-1611), altro costruttore di strumenti matematici del periodo elisabettiano. La fine del suo apprendistato coincide con la morte del suo maestro nel 1611. Durante la sua carriera Allen mantenne sempre uno stretto contatto con gli intellettuali di Londra.



Funzionamento: il teodolite è utile per misurare angoli azimutali e angoli zenitali. La parte inferiore dello strumento serve a misurare la distanza angolare orizzontale tra due punti scelti e puntati tramite le pinnule. Si posiziona il cerchio in modo da centrare attraverso le mire fissate ad esso il primo punto e si fa ruotare l'alidada finché le pinnule non mirano il secondo punto di cui si vuole misurare la distanza dal primo. La distanza angolare viene misurata o nella prima scala o in quella più interna indipendentemente. La precisione con cui si compivano le misure è di un quarto di grado. La parte dello strumento che serve a misurare l'altitudine è quella superiore. Il punto di cui si vuole misurare l'altezza è visto attraverso le due pinnule poste su ciascuna delle estremità del lato superiore del quadrante, che in questo oggetto sono però mancanti. Il peractor utilizza il principio dei triangoli simili per derivare, a partire da una data inclinazione, la distanza orizzontale dall'altezza o reciprocamente. E' stato inventato proprio come accessorio per i teodoliti per consentire misurazioni di angoli verticali e permette la determinazione diretta, senza fare calcoli trigonometrici, di altezze e distanze utilizzando la griglia incisa su di un lato del quadrante. La pendenza, ovvero l'ipotenusa del triangolo, è misurata sul supporto verticale; la distanza orizzontale, ovvero la base del triangolo, è letta lungo l'estremo lato a sinistra del quadrante, e l'altezza del triangolo è letta sul bordo del quadrante dove stanno le pinnule seguendo le linee della griglia. L'angolo rispetto alla verticale è invece letto sull'arco inferiore. Conoscendo ad esempio la distanza dell'oggetto se ne può ricavare l'altezza mediante semplici proporzioni. Le due seguenti immagini mostrano come si riesce a ricavare l'altezza di una torre utilizzando la griglia del quadrante. La scala incisa fino a 100

può essere convertita in qualsiasi lunghezza attraverso una semplice moltiplicazione, ad esempio
 $200 \text{ yards} = 100 \times 2$.



L'intenzione di Rathborne grazie a questo strumento era quella di velocizzare il lavoro del topografo fatto sul campo, come sottolinea lo stesso Rathborne nel suo *The Surveyor* nel 1616:

“most fitte for the speedytaking of all maner of altitudes and profundities, and the suddaine reduction of those lines without Arithmetically calculation, or other collaterall account,...”

Questo teodolite ha lo svantaggio di permettere la localizzazione di angoli orizzontali solo se il quadrante verticale è staccato dal suo supporto.

**SCHEDA TECNICA 2: TEODOLITE RIPETITORE, COSTRUITO DA TROUGHTON AND SIMMS,
4/4 XIX SECOLO**



Collocazione: questo strumento è collocato al **Museo di Storia della Fisica** dell'Università di Padova. È stato acquistato dal professore di fisica sperimentale *Francesco Rossetti* (1833-1885) nel 1882. Rossetti inizia l'inventario del Gabinetto di Fisica nel 1870 e nel Giugno del 1882 acquista assieme al teodolite ripetitore (Troughton and Simms) una macchina magneto-elettrica (Stoerer), scatole e pesi graduati, e una bilancia (Rueprecht). A Rossetti venne assegnata la cattedra di fisica sperimentale presso l'Università di Padova nel 1866. Fin da subito egli si adoperò per trasformare l'Istituto di Fisica in un moderno stabilimento sulla falsariga degli istituti scientifici da lui visitati in Germania. Grazie al suo lavoro il Gabinetto di Fisica si arricchì di nuovi e costosi strumenti.

Descrizione: teodolite ripetitore in ottone costituito da un basamento con tre viti calanti, cerchio azimutale graduato da 0 a 360 gradi con tre noni, ciascuno con il suo oculare che danno i 10" di grado. Gli oculari e i noni sono fissati al pilastro centrale e ruotano con esso. Tra il disco e il

basamento con le viti calanti ci sono due coppie di viti, una per i grandi movimenti e l'altra per i piccoli movimenti del cerchio d'orizzonte, che può ruotare assieme alla colonna centrale oppure essere bloccato, come di prassi nei teodoliti ripetitori. Una delle coppie di viti serve a tenere bloccato il cerchio alla base di appoggio mentre l'altra coppia serve a rendere solidale il cerchio alla colonna centrale.

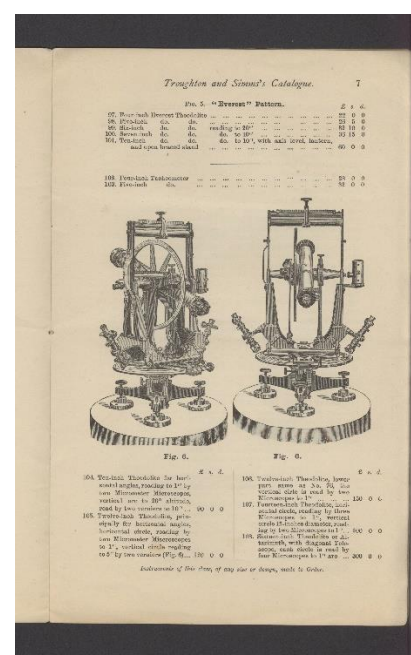
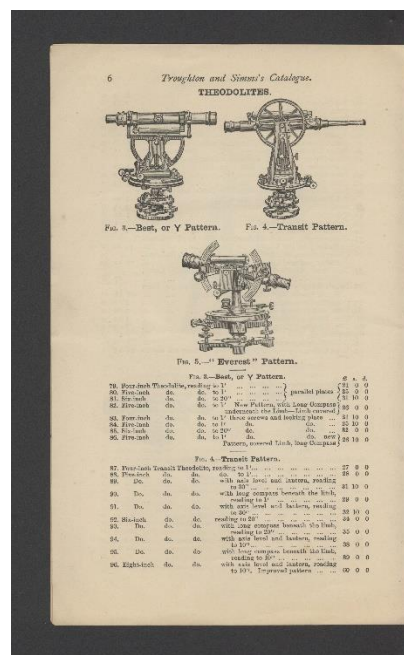
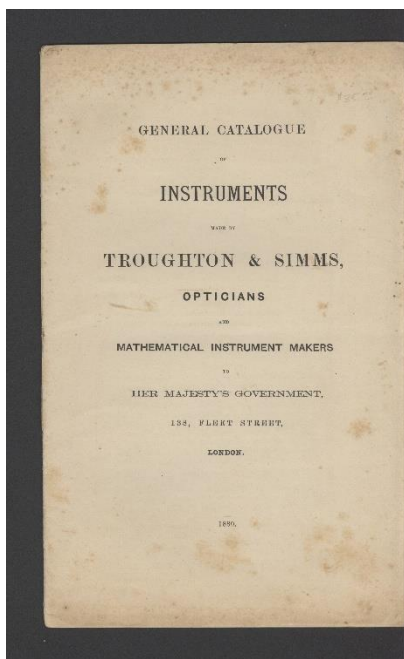
Al centro del cerchio si trova un pilastro conico su cui è presente una forcella che sorregge il cannocchiale. Il cannocchiale ha l'oculare con rinvio a 90 gradi e una vite che permette di mettere a fuoco. Al cannocchiale sono fissati due archi di ottone graduati da -30 gradi a +45 gradi, ciascuno col suo nonio e oculare che danno i 10" di grado. I noni e gli oculari si muovono separatamente dal cannocchiale così da poterli tenere fissi rispetto all'orizzontale; se ne controlla la posizione grazie alla livella a bolla cui sono fissati.

Sopra al cannocchiale e ortogonale a esso è montata un'altra livella a bolla collegata al pilastro centrale. Quest'ultima è utile a verificare la tangenzialità dello strumento rispetto al suolo. Sul cerchio d'orizzonte è inciso: "**Troughton & Simms London**".



Costruttore: *Edward Troughton* e *William Simms* iniziano a costruire strumenti scientifici insieme associandosi a Londra nel 1826. Edward aveva imparato il mestiere da suo padre, John Troughton che era uno dei principali costruttori di strumenti a Londra e aveva lavorato anche con suo fratello

John altrettanto talentuoso. William Simms appartiene a una famiglia meno facoltosa, ma si dimostra essere un ottimo artigiano e uomo d'affari; impara inizialmente il lavoro di orafo per passare poi agli strumenti di astronomia. Sotto la sua leadership, dopo la morte di Troughton, la ditta "Troughton and Simms" costruì strumenti matematici per clienti di tutto il mondo. Quando Simms muore nel 1860 gli subentra il figlio James e il nipote William. Il negozio di Fleet Street diventò il fiore all'occhiello dei costruttori di strumenti scientifici di Londra, in un periodo nel quale la domanda di strumenti di precisione per l'astronomia e per la topografia era in continua crescita. La ditta costruì strumenti per l'osservatorio di Greenwich, per le spedizioni di esplorazione e per i rilevamenti nazionali. La Troughton and Simms aveva un'eccellente reputazione riguardo alla qualità degli strumenti costruiti, ma per quanto riguarda la consegna i clienti lamentavano ritardi che potevano essere anche di anni. Nelle immagini seguenti possiamo soffermarci su tre pagine prese dal catalogo degli strumenti di Troughton and Simms datato 1880 con i diversi tipi di teodoliti costruiti e i relativi prezzi:



Funzionamento: il teodolite è uno strumento disegnato con lo scopo di misurare gli angoli orizzontali e verticali ed è il più completo tra gli strumenti di topografia. Quando è in uso solitamente è appoggiato su un treppiede. Il teodolite viene montato su un treppiede attraverso le tre viti calanti di livellamento. Per usarlo, occorre fare una serie di regolazioni così da avere misurazioni non affette da errori. Il cerchio deve essere perfettamente orizzontale e le regolazioni in questo senso si fanno usando le tre viti calanti e, con la livella a bolla posta ortogonale al cannocchiale, ruotando il cilindro

conico nelle diverse angolazioni. Una volta che si è posto il disco in posizione perfettamente orizzontale, si possono misurare angoli azimutali usando le viti per i grandi e i piccoli spostamenti. Attraverso l'altra coppia di viti è possibile bloccare il cerchio orizzontale al cilindro e misurare l'angolo zenitale muovendo il cannocchiale. Le misure di angoli verticali vanno fatte mantenendo sempre l'asta dei noni ortogonale alla colonna. Nell'obbiettivo del cannocchiale è posto un mirino così da avere una misura più precisa. Nelle due immagini che seguono si può vedere come è posizionato lo strumento per la misura di angoli verticali. L'immagine a sinistra mostra il cannocchiale perfettamente ortogonale alla colonna, con il nonio che indica 0 gradi su entrambi i settori. L'immagine a destra mostra lo strumento con la bolla collegata al nonio orizzontale e i settori che invece seguono l'inclinazione del cannocchiale.

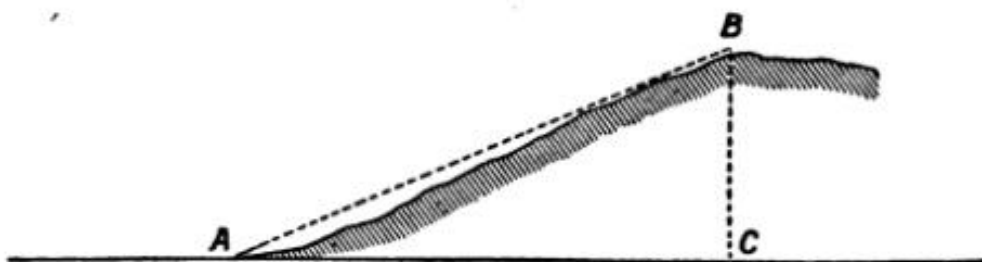


Esempi di misurazioni che potevano essere effettuate con il teodolite:

- Se conosco la lunghezza del pendio di una montagna AB e misuro l'angolo α in A posso calcolare:

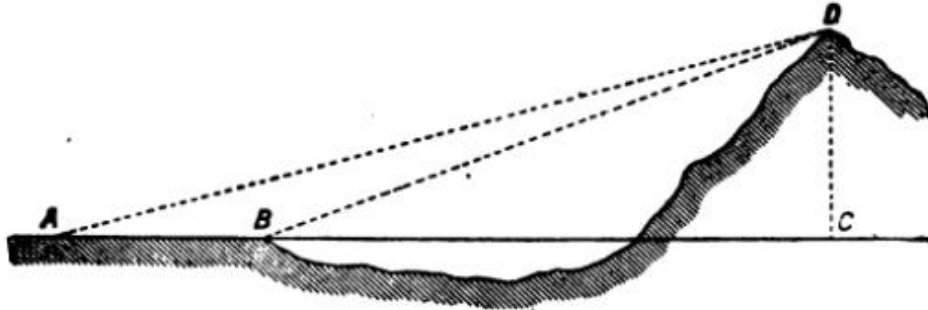
$$\text{L'altezza } BC = AB \sin \alpha$$

$$\text{la distanza orizzontale } AC = AB \cos \alpha$$



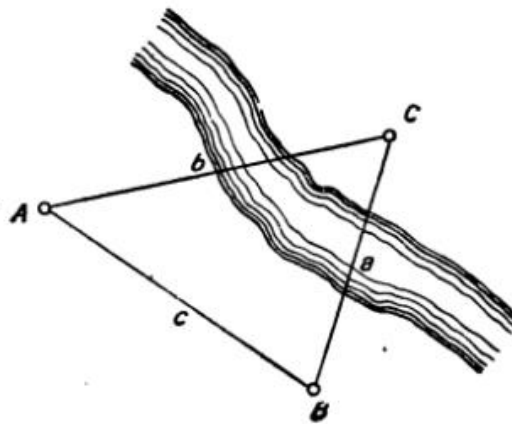
- L'altezza di un sito inaccessibile se conosco la distanza AB e misuro gli angoli α e β posso calcolare:

$$\text{l'altezza } CD = \frac{AB}{\cot\alpha - \cot\beta}$$



- Attraverso il metodo della triangolazione si misura la distanza o altezza di punti inaccessibili: misuro la distanza tra due punti A e B che formano una base-line adatta a formare un triangolo con il punto C, misuro gli angoli orizzontali α in A e β in B e l'angolo verticale a C γ e così ricavo l'angolo in C δ , calcolo la lunghezza del lato AC oppure BC conoscendo AB e l'angolo orizzontale in A e in B $a = \frac{c \sin\alpha}{\sin\delta}$. Chiamo l'altezza di C sopra a B h e calcolo:

$$h = a \tan\gamma$$



BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA

Gerard L'E. Turner (a cura di), "Storia delle scienze: gli strumenti", Torino 1991

Gerard L'E. Turner, "Nineteenth-century scientific instruments", Londra 1983

Gerard L'E. Turner, "Elizabethan instrument makers", Oxford 2000

Christopher Walker (a cura di), "L'astronomia prima del telescopio", Bari 1997

Sofia Talas (a cura di) Report del progetto "Scattered collections", Padova 2015

James Park, "A text book of theodolite surveying and leveling", Glasgow 1922

Wolfgang Torge (a cura di), "Geodesy", Berlino 1980

Russell C. Brinker (a cura di), "The Surveying Handbook", Berlino 1995

Anita McConnell, "Instrument Makers to the World. A History of Cooke, Troughton&Simms", York 1992

Proverbio E. (a cura di), "Cannocchiali e telescopi di interesse storico, e loro costruttori, in uso negli Osservatori Astronomici italiani", in Memorie della Società Astronomia Italiana, Vol. 66, p.753

George Adams, "Geometrical and Graphical Essays", London 1791

William Leybourn, "The compleat surveyor", London 1657

Samuel Guye (a cura di), "Measuring Instruments from the 15th to the 19th Century", London 1970

Jim Bennett, "Early Modern Mathematical Instruments"

Francesco Poppi, "Astronomy: GPS del passato! Storie di viaggi e di scoperte", in Orione, Vol.276, p.33

Giuseppe Toaldo, "Tavole trigonometriche con un compendio di trigonometria piana, e sferica, teorica, e pratica", Padova 1773

www.museogalileo.it, accesso al sito il 23/01/2018

www.museogalileo.it, accesso al sito il 23/01/2018

www.geomatica.it, accesso al sito il 23/01/2018

www.wikipedia.org, accesso al sito il 23/01/2018

ww.igmi.org, accesso al sito il 23/01/2018

www.museoscienza.org, accesso al sito il 23/01/2018

www.beniculturali.inaf.it, accesso al sito il 23/01/2018

www.amhistory.si.edu, accesso al sito il 23/01/2018

www.itinerarivirtuali.musei.unipd.it, accesso al sito il 23/01/2018

www.etesseract.com, accesso al sito il 23/01/2018

www.museumvictoria.com, accesso al sito il 23/01/2018