

*Descrizione di un
nuovo circolo ripetitore in altezza ed in azimuth*

del Sig. Prof. Giovanni Batista Amici

Letta nell'adunanza del 26 Marzo 1822.

«Memorie della Reale Accademia di Scienze Lettere ed Arti di Modena»
Tomo I - Parte IV
Reale Tipografia Eredi Soliani - Modena 1858
(pp. 25-33)

Fra i maggiori e più interessanti servigi resi in questi ultimi tempi alla Geodesia si annovera giustamente il principio della ripetizione degli angoli, introdotto con varie forme e modificazioni negli istrumenti che escono dalle officine de' più abili e rinomati artisti. Con un Cerchio o con un Teodolite ripetitore, di soli otto pollici di diametro, si prendono ora gli angoli di posizione degli oggetti terrestri con tanto accordo di risultamento che tale appena potrebbe sperarsi dall'uso d'istrumenti incomparabilmente più voluminosi, di assai difficile ed incomodo trasporto, cui non fosse applicato il meccanismo della ripetizione. Un tal grado di esattezza che ottiensi facilmente nella misura degli angoli orizzontali si credè da prima poterlo conseguire in egual modo adoperando il medesimo artificio di ripetizione nelle osservazioni di altezza. Ma l'esperienza non ha molto tardato a dimostrare delle anomalie di qualche minuto secondo che non di rado in questo caso s'incontrano, senza che la sagacità di valentissimi osservatori abbia potuto sin qui assegnarne la vera cagione.

Chi ha attribuiti questi errori ad un giuoco troppo libero degli assi di rotazione dei cerchj, chi all'elasticità de' cerchj stessi quando i loro perni, soffrendo molto attrito, presentano una sensibile resistenza a muoversi; chi alla flessione del cannocchiale, o all'imperfetta azione delle tanaglie che fermano il nonio ed il lembo; chi infine alla troppa scioltezza delle viti di trasporto de' circoli, od a qualche altra sorgente che sarebbe superfluo qui riferire. In generale si è più insistito sull'azione, e sulla ricerca delle cause di *errori costanti* che sopra l'effetto di quelle, la cui natura è suscettibile di compenso come sarebbe l'errore di appuntazione (*pointé*), e l'errore del livello. Contuttociò se si riflette che non solo è accaduto ad osservatori diversi con diversi cerchj di trovare dei risultati differenti nella determinazione della latitudine assoluta di un medesimo luogo, sebbene le serie particolari delle osservazioni di ognuno si accordasser fra loro; ma che questo è avvenuto eziandio ad uno stesso osservatore che si è servito replicatamente del medesimo istrumento, del medesimo metodo di osservazione, e delle medesime stelle: conviene pur confessare che le supposte cause di errori costanti non sono costanti esse stesse, e che molta incertezza rimane tuttavia sull'origine di quei piccoli sbagli, ai quali vanno soggette le osservazioni di distanza al zenit.

Per verità tutte le indicate sorgenti, o parte di esse, possono aver contribuito a produrre delle differenze nelle misure d'altezze; ma quanto è facile il riconoscere la possibilità della loro influenza, altrettanto è difficile ed anzi impossibile il voler decidere se piuttosto a queste o ad altre ignote ragioni attribuir si debbano le discrepanze. Trattandosi di piccoli istrumenti di conveniente robustezza e da abile artista costruiti, io porto opinione che nessuno degli errori costanti della natura indicata abbia a temersi, quando si usino le dovute cautele, e si operi con agio. Mi pare anzi che la precisione de' risultati da altro limite non sia circoscritta che dal grado di forza del cannocchiale, e più ancora dalla necessità di adoperare un livello.

Alcuni astronomi hanno già riconosciuto della irregolarità nei migliori livelli, e il celebre Piazzi loro accorda sì poca fiducia che ad istanza di lui la Reale Accademia delle Scienze di Napoli nel suo Programma pel premio da darsi nel 1820 alla descrizione del miglior cerchio Astronomico, impose la condizione che *le verificazioni non dipendessero da qualsiasi livello a spirito*. Per altro deve considerarsi che se mezzi diversi possono esser con vantaggio sostituiti ai livelli nelle verificazioni dei grandi cerchi collocati stabilmente in un osservatorio, si verrebbe a rinunciare ad una preziosa comodità, senza gran compenso nella precisione, se si volessero del tutto escludere negli strumenti portatili.

Applicando in un modo robusto dei buoni livelli ad un telescopio di considerabile ingrandimento, e collimando con esso ad un oggetto terrestre, nel mentre che la bolla segna per esempio zero, io mi sono accorto che coll'abbassare od alzare il telescopio, e col rimetterlo poscia al suo punto di mira, la bolla non ritorna sempre alla divisione primiera. E così reciprocamente se la bolla si riconduce allo zero, il telescopio spesso manca di segnare l'oggetto cui precedentemente stava appuntato. Questo difetto proviene dal tempo considerabile che occorre affinché la bolla si restituisca al suo posto; e talvolta si giudica che essa sia ferma quando in realtà lentamente si muove per ricondursi al suo giusto equilibrio. Si deve dunque tanto più temere questa imperfezione quanto minor tempo si conceda al livello per ricomporsi. Or ciò è appunto quello che accade nell'uso dei cerchj ripetitori. Destinati questi istrumenti a trovar l'altezza di un astro, il tempo delle osservazioni che vi si può impiegare, necessariamente è ristretto a pochi minuti; ne' quali volendo pur profittare del vantaggio delle ripetizioni degli angoli, convien passar senza indugio da un'osservazione alla successiva. Niuna meraviglia adunque che angustiati dalla mancanza di tempo, si giudichi erroneamente della posizione della bolla del livello, e che si trascurino alcune di quelle precauzioni nel maneggio dell'istrumento, che possono contribuire alla maggiore esattezza delle misure.

So bene che essendo l'errore del livello di un genere non costante, la sua influenza colle moltiplicate ripetizioni se non si annichila, deve almeno riescire insensibile. Tale compenso però essendo l'effetto di pura probabilità, resterà sempre dubbioso dopo le poche osservazioni eseguibili nell'intervallo di alcuni minuti; e parmi che mal si apporrebbe colui che trovando due misure differenti di una medesima altezza, negasse che nell'errore avesse parte alcuna il livello, perché la regolarità delle serie rende ciò poco probabile. La probabilità del contrario non esclude la possibilità del fatto, e i difetti riconosciuti nei livelli bastano a farne temere la cattiva influenza, quando non venga positivamente dimostrato che ad altre cagioni debbano attribuirsi gli errori.

Comunque sia io ho creduto che si potessero evitare le difficoltà immaginando un nuovo artificio coll'ajuto del quale la ripetizione degli archi facendosi indipendentemente dalle osservazioni degli astri, e dal loro movimento, fosse permesso di prolungare a piacere le ripetizioni di altezza senza essere astretti ad un tempo limitato. Or questa mia idea essendosi già da me praticata, ho stimato non immeritevole di descrizione il nuovo mio istrumento, il quale al vantaggio di cui si è fatto menzione ne unisce pure alcuni altri, e particolarmente quello che per dar compimento a qualunque osservazione basta una sola persona, mentre due se ne richiedono per l'uso degli ordinarj cerchj ripetitori.

La figura disegnata in prospettiva mostra la costruzione del circolo ripetitore in altezza ed in azimuth, che serve al doppio uso astronomico, e geodetico. Il circolo azimutale interno che porta i nonj è attaccato stabilmente ad un robusto asse d'acciajo AB , il quale s'introduce in una colonna di bronzo che fa parte del piede.

Nella porzione conica C di quest'asse si aggira il cerchio esterno azimutale D in cui sono segnate le divisioni, e può col nonio aver comune il movimento di rotazione, oppure mediante una tanaglia T restar fermo nel mentre che esso nonio si muove.

Per tale distribuzione di parti i sostegni dell'asse orizzontale F , i quali appoggiano sul cerchio interno, vengono ad acquistare maggior solidità di quella che avrebbero se il cerchio lembo fosse fissato all'asse verticale, ed intorno a lui collo sfregamento su breve cono, come ho veduto praticarsi da qualche artista, girasse il cerchio nonio che deve portar maggior peso.

Una costruzione analoga si è adottata riguardo ai cerchi verticali. Il cerchio nonio G che porta il cannocchiale rimane vitato all'asse F , il quale nell'altra estremità riceve il contrappeso, cui va unito

il livello L . Così il cerchio lembo H , oltre il movimento comune coll'asse F , ruota anche intorno all'asse medesimo, e può fermarsi coll'ajuto della tanaglia S attaccata ad un braccio del cerchio interno azimutale, e che si ripiega in basso: infine una molla M che poggia sul centro A sostiene gran parte del peso caricato sull'asse orizzontale, impedisce la sua flessione, toglie il troppo sfregamento sugli appoggi di lui, e fa che il cerchio azimutale non abbia a piegarsi.

Con questo strumento una persona sola può fare qualunque osservazione d'altezza senza che alcuno l'ajuti a situare il livello ed a notare i tempi dell'orologio. La ripetizione delle altezze si eseguisce infatti come segue. Si mette a zero il nonio e girando i cerchj uniti si colloca la bolla nel centro del livello; quindi si ferma il cerchio esterno e si mira col cannocchiale all'oggetto, ruotando il solo cerchio interno; e così si ha l'arco semplice. Di nuovo i due cerchj si girano insieme finché il livello si riconduca alla prima posizione, locché stabilisce un secondo punto di partenza per far nella stessa maniera la seconda osservazione d'altezza. In tal guisa l'angolo si duplica e successivamente si triplica, e quadruplica ecc., sempre seguendo la progressione aritmetica de' numeri naturali.

Se l'oggetto osservato fosse in moto l'artificio per ridurre ad un'epoca sola le osservazioni d'altezza ripetendo l'angolo per un tempo arbitrario, consiste in un microscopio composto Q applicato con un piede al cerchio nonio azimutale, e mobile in un piano parallelo al cerchio verticale, indipendentemente da tutti gli altri movimenti della macchina. Questo microscopio può dirigersi ad un finissimo segno fatto in un dischetto di cristallo che aderisce al tubo del cannocchiale, e che si illumina colla luce, la quale passa attraverso l'altro dischetto N a lui contrapposto. Da ciò pertanto risulta che fatta la prima osservazione d'altezza dell'astro, notato il tempo dell'orologio, e portato il microscopio a collimare col segno marcato nel dischetto del cannocchiale, la ripetizione dell'angolo non esige più la presenza dell'astro; ma essa si compie coll'uso del microscopio, il quale rimanendo al suo posto fa le veci dell'astro stesso, e lo rappresenta costantemente a quell'altezza in cui si trovava all'epoca già notata della prima osservazione.

Si potrebbe forse opporre che mirando una sola volta all'oggetto si viene a rinunciare al vantaggio di un probabile compenso degli errori di appuntazione. Per verità se il cannocchiale mal sia diretto da principio, l'errore commesso rimane tutto intero nel risultamento finale, poiché col nuovo metodo di ripetere esso si rinnova nello stesso senso ad ogni osservazione. Ma non per questo la ripetizione eseguita col microscopio parmi che sia da posporre all'uso del cannocchiale; imperocché non essendo sollecitati dalla ristrettezza del tempo, si può impiegare tutta l'attenzione nell'osservazione primitiva, e scegliere quell'istante in cui l'astro si mostra più tranquillo e meglio coincidente coi fili del micrometro. Inoltre compita una serie di osservazioni d'altezza appartenenti ad un dato tempo se ne possono formare delle altre per tempi diversi, e poscia insieme combinarle, onde tutte concorrano a produrre una maggiore precisione. Se la forza del cannocchiale rende sensibile, per esempio, un angolo di tre minuti secondi, noi potremo esser certi di non commettere nella prima osservazione un errore più grande di questo limite; e ciò basta per giungere ad un'eguale esattezza nella lettura delle divisioni, ripetuto che sia l'arco per mezzo del microscopio quante volte si creda necessario.

Non mi fermerò molto a descrivere i mezzi di rettificazione dell'istrumento, poiché agli intelligenti basta anche la sola ispezione del disegno. Un livello a staffa V serve a collocare l'asse F ad angolo retto con l'asse BA e a mettere quest'ultimo nella verticale. La linea di collimazione del cannocchiale rispetto al piano del circolo H si corregge col movimento del reticolo R , e l'errore si può conoscere in due maniere: o servendosi delle divisioni del circolo azimutale guardando un oggetto lontanissimo col cannocchiale diretto, e poscia rivoltato; oppure levando da' suoi appoggi l'asse F con le sue attenenze, ed invertendolo come si fa degl'istrumenti de' passaggi. Questa seconda maniera però riesce più incomoda, poiché fa d'uopo togliere il contrappeso che non può uscire per l'anello, attorno cui si muove il microscopio composto. Il livello L è corredato degli opportuni movimenti onde la bolla segni zero quando la linea di collimazione del cannocchiale si trova parallela all'orizzonte. L'errore a ciò relativo si può molto esattamente valutare prendendo una serie d'altezze di un oggetto col lembo a levante, ed un'altra serie col lembo a ponente, dovendo la loro somma in caso di perfetto aggiustamento formare 180 gradi. L'esperienza mi ha poi dimostrato che fatto una volta questa verifica, l'istrumento di cui si parla, e che ha ambi i circoli di otto pollici di diametro, si con-

serva rettificato per lungo tempo. Rispetto all'uso che di lui si fa nella misura degli angoli sottesi da due oggetti terrestri, apparisce chiaramente che esso si può adoperare come un ordinario teodolite, avvertendo di correggere col calcolo i risultati affetti dall'errore dovuto alla eccentricità del cannocchiale; o meglio se ne può servire in maniera che la ripetizione dell'angolo si eseguisca or col cannocchiale a destra, ora a sinistra alternativamente, colla quale operazione si viene ad eliminare l'errore che dall'eccentricità del cannocchiale dipende.

Infatti X ed Y rappresentino (nell'altra Figura) i due oggetti terrestri e sia C il centro del circolo. Se si suppone in B il cannocchiale diretto ad X , e poscia trasportato, col movimento del solo cerchio nonio azimutale, in B' ove collimi con Y , si avrà nel lembo marcato l'angolo BCB' . Ruotandosi adesso tutto il sistema attorno all'asse verticale, in modo che il cannocchiale si possa, dapprima pervenuto in D , appuntare ad X , e movendo come precedentemente il solo cerchio nonio, condurre in D' nella direzione Y ; egli è chiaro che nel lembo si sarà percorso un arco eguale alla somma dei due angoli BCB' e DCD' , la cui metà eguaglia precisamente l'angolo al centro XCY .

Io non prolungherò di più la descrizione del nuovo cerchio doppiamente ripetitore già abbastanza sviluppata, ma non debbo lasciare di avvertire, che l'artificio del microscopio atto a rappresentare la posizione invariabile di un astro, servir può ancora con grande vantaggio a render ripetitore un circolo meridiano collocato stabilmente fra due pilastri di marmo. Se si riguarda questa nuova idea tanto dal lato dell'economia, che da quello dell'esattezza, e della facilità della costruzione, parmi che per ognuno di questi titoli ne venga raccomandato l'eseguimento. Imperocché con un cerchio di soli otto pollici di diametro diviso di 10" in 10" e con un cannocchiale di cinque piedi di distanza focale, si può giungere ad una precisione maggiore di quella che ci procurano cerchj incomparabilmente più larghi, più costosi, e più difficili da costruirsi.

Per sentire la superiorità della costruzione che propongo basta riflettere che per quanto ben fatte si suppongano le divisioni di un circolo, la lettura delle medesime non giunge mai a quel grado di esattezza di cui è suscettibile l'appuntazione con un perfetto cannocchiale, anche di soli quattro pollici di apertura. Se comunemente si fa ascendere ad un minuto primo l'angolo minore visibile ad occhio nudo, si potrà vedere un angolo di un terzo di minuto secondo con un ingrandimento di cento ottanta volte prodotto dal cannocchiale delle dimensioni indicate. Ora nei nostri migliori e più grandi cerchj chi può ripromettersi di leggere l'arco con altrettanta accuratezza? Ma io voglio anche ridurre la forza del cannocchiale al limite di un intero secondo, poiché la distinzione col mezzo de' vetri non eguaglia mai quella dell'occhio disarmato, ed il pennello luminoso non abbraccia che piccola parte della pupilla; ciò non pertanto quali sono quelle divisioni che possono sostenere un siffatto paragone? Il mezzo della ripetizione finora è il solo che possa giungere a quell'esattezza; e se come ho detto il circolo meridiano non abbia che otto pollici di diametro e sia esattamente diviso in 10" basterà ripetere dieci volte l'angolo per mettersi del pari col grado di forza del cannocchiale. L'errore del microscopio composto inserviente alla ripetizione potrà sempre esser ridotto a meno di un minuto secondo, col servirsi di un'amplificazione considerabile, e col fissare verso l'estremità del tubo del cannocchiale il dischetto di vetro sopra cui sta scolpito il finissimo segno al quale si deve collimare. Del rimanente io non entrerò a spiegare la particolar forma da darsi ad un cerchio meridiano costruito sul principio che ho accennato onde ricavarne il maggior profitto. Ora mi basta l'averne di passaggio fatto conoscere l'idea.