

## Percorso didattico

# Non sempre due lenti fanno un paio di occhiali

P. Del Santo

### Indice

Scheda generale.....	2
Obiettivi del percorso.....	2
Competenze.....	2
Introduzione al percorso.....	3
Percorso sul telescopio.....	3
Premessa.....	3
1. Il telescopio: principi di funzionamento.....	4
2. Il progetto ottico e la costruzione.....	9
3. L'osservazione della luna .....	14
4. Fotografare le luna .....	16
5. L'elaboraizone dei dati: la formulazione e la verifica delle ipotesi .....	17
6. La librazione lunare .....	20
7. L'osservazione del Sole .....	23
Documentazione e materiali.....	25

## Scheda generale

### Titolo percorso:

- Non sempre due lenti fanno un paio di occhiali

### Autori:

- Paolo Del Santo

### Nucleo Tematico:

- Terra e Universo

### Ordine di scuola:

- Scuola secondaria di primo grado

### Tempo medio per svolgere l'attività in classe:

- 37 ore (25 ore per la realizzazione del telescopio e l'attività di osservazione della Luna + 12 ore per l'attività di osservazione del Sole)

[allegati/non\\_sempre\\_due\\_lenti\\_scheda-generale.pdf](#)

## Obiettivi del percorso

### Lato docente e lato studente

- Eseguire osservazioni e scoprire l'importanza di formulare ipotesi per spiegare i fatti e i fenomeni osservati.
- Organizzare correttamente le osservazioni e pianificare semplici attività di indagine.
- Saper raccogliere e ordinare dati sperimentali.
- Imparare a annotare sistematicamente le osservazioni compiute al fine di poterle analizzare proficuamente in tempi successivi.
- Elaborare ipotesi sulla base dei dati raccolti e delle conoscenze personali e formulare proposte di esperimenti atti a verificarle.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali.

## Competenze

### Lato docente

- Modelli della visione e dell'ottica geometrica
- Interpretazione dei fenomeni celesti osservati nel corso dell'anno

### Lato studente

- Saper ricavare informazioni da fonti diverse
- Saper valutare l'attendibilità delle informazioni trovate

## Introduzione al percorso

Il presente percorso didattico è incentrato sulla costruzione - utilizzando comuni lenti da occhiali, reperibili a poco prezzo nei negozi di ottica - di un telescopio di caratteristiche e prestazioni analoghe a quelli realizzati e utilizzati da Galileo. A dispetto della sua semplicità ed economicità, lo strumento consente di replicare molte delle celebri osservazioni astronomiche che lo scienziato pisano effettuò a partire dall'autunno del 1609.

Il percorso si articola su due diverse attività: l'osservazione della Luna e lo studio delle macchie solari. Il docente, valutato il contesto in cui opera e la disponibilità di tempo, potrà eventualmente limitarsi ad una sola di esse.

Il piccolo cannocchiale autocostruito è innanzitutto uno strumento attraverso il quale lo studente potrà avvicinarsi allo studio del cielo, sviluppando una conoscenza delle nozioni astronomiche di base fondata sull'osservazione diretta dei fenomeni. Nella progettazione del percorso si è tuttavia posta grande attenzione alla prospettiva storica, un approccio che, indubbiamente, costituisce uno degli aspetti più innovativi dell'intero progetto PON Scienze.

## Percorso sul telescopio

### Premessa

Non più utilizzato in astronomia sin dalla metà del XVII secolo, il telescopio galileiano trova oggi pratica applicazione solo nei piccoli binocoli da teatro e in alcuni dispositivi per ipovedenti (nonché nei mirini delle fotocamere compatte). Ciò fa sì che la letteratura tecnica sull'argomento sia estremamente scarsa e, per lo più, in lingua inglese<sup>1</sup>. È questo il motivo per il quale si è dato qui ampio spazio agli aspetti più specificatamente tecnici di questo strumento. In particolare, nei primi due capitoli, che costituiscono una sorta di piccolo manuale di ottica telescopica, sono state diffusamente

<sup>1</sup> Gli ultimi lavori significativi sul telescopio galileiano risalgono ai primi decenni del secolo scorso, quando, prima della diffusione dei binocoli prismatici, questa combinazione ottica veniva ancora utilizzata nei binocoli militari. Si trattava, in realtà, di galileiani molto sofisticati, con l'obiettivo acromatico e oculare composito (v. Bell 1922, pp. 150-51).

trattate tutte quelle nozioni utili alla realizzazione del progetto ottico. Essi sono pertanto destinati esclusivamente al docente, che, dovendo sovrintendere alla costruzione dello strumento, deve conoscerne funzionamento e potenzialità.

## 1. Il telescopio: principi di funzionamento

Nella sua forma primigenia, introdotta dai maestri occhialai olandesi e successivamente utilizzata da Galileo per le sue celebri osservazioni, il telescopio è uno strumento estremamente semplice. Esso è costituito da un tubo alle estremità del quale sono poste due lenti: una convergente (piano-convessa o biconvessa) con funzione di obiettivo, e l'altra divergente (piano-concava o biconcava) con funzione di oculare (Fig. 1).

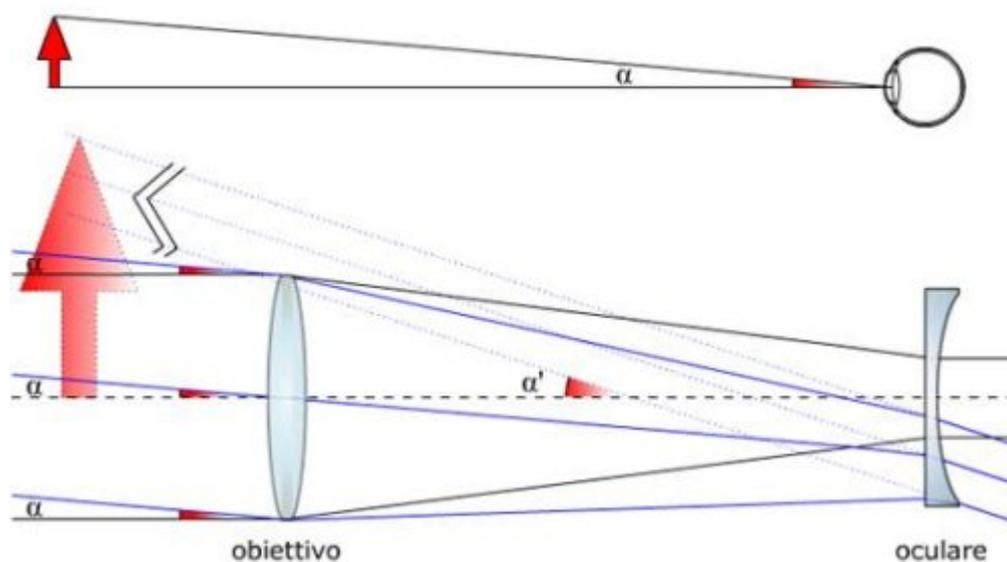


Fig. 1 Schema ottico del cannocchiale galileiano

(fonte <http://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/dswmedia/esplora/iesplora2.html>  
data di accesso 10 maggio 2009)

Questa combinazione ottica - nota appunto come telescopio galileiano o, soprattutto nella letteratura anglosassone, olandese - produce immagini diritte e può quindi essere utilizzato, senza ricorrere ad ulteriori elementi ottici, anche per osservazioni terrestri. Per contro, essa presenta l'inconveniente di un campo visivo estremamente limitato, che, nella pratica osservativa, ne rende proibitivo l'uso già a poche decine di ingrandimenti. Fu questo il motivo per il quale, già dalla generazione successiva a quella di Galileo, andò affermandosi nell'uso astronomico il telescopio con oculare convergente (Fig. 2).

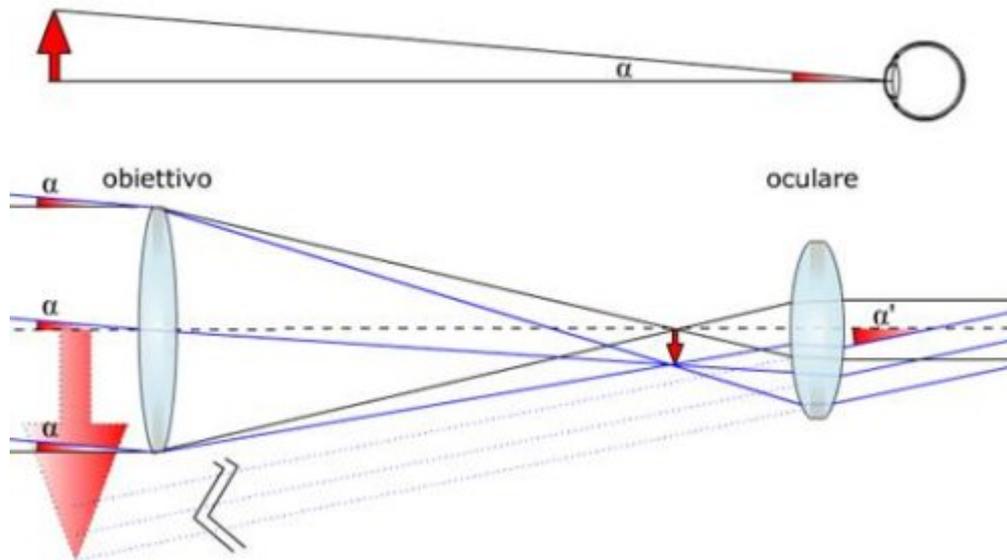


Fig. 2 Schema ottico del cannocchiale kepleriano

(fonte <http://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/dswmedia/esplora/iesplora2.html>  
data di accesso 10 maggio 2009)

Teorizzato già nel 1611 da Keplero<sup>2</sup>, e perciò noto come kepleriano (o astronomico), questo telescopio produce immagini rovesciate (un inconveniente non così pregiudizievole nell'uso astronomico), ma, in compenso, offre il vantaggio di un campo visivo assai più vasto e luminoso.

Nel telescopio galileiano, per un oggetto posto all'infinito, la distanza tra la lente obbiettivo e quella oculare è uguale alla differenza tra le lunghezze focali delle due lenti. Nel kepleriano, invece, la distanza tra i due elementi ottici è data dalla somma delle loro focali. Tuttavia, poiché per convenzione le lenti convergenti sono considerate di focale positiva e quelle divergenti di focale negativa, possiamo anche dire che, sia nel telescopio kepleriano, sia nel galileiano, la distanza tra le lenti è uguale alla somma algebrica delle loro focali.

In entrambe le combinazioni ottiche, inoltre, il numero degli ingrandimenti è dato dal rapporto tra la distanza focale dell'obbiettivo e quella dell'oculare<sup>3</sup> (a rigore, per quanto detto precedentemente circa il segno delle focali e non avendo significato parlare di ingrandimento negativo, al valore assoluto di tale rapporto)

$$I = f_{ob} / f_{oc} \quad (1)$$

Per quanto detto, dunque, un galileiano con obbiettivo, ad esempio, di focale di 100 cm e oculare di focale di 5 cm, ingrandirà 20 (= 100 cm / 5 cm) volte, e la distanza tra le due lenti risulterà  $d = 100 \text{ cm} + (-5 \text{ cm}) = 95 \text{ cm}$ . Un kepleriano realizzato con lenti di uguale focale avrà anch'esso 20x, ma la distanza tra obbiettivo e oculare sarà  $d = 100 \text{ cm} + 5 \text{ cm} = 105 \text{ cm}$ .

<sup>2</sup> Johann Kepler, *Dioptrice seu demonstratio eorum quae visui & visibilibus propter conspicilla non ita pridem inventa accidunt*, Augustae Vindelicorum, typid Davidis Franci, 1611 (Johann Kepler, *Gesammelte Werke*, München, C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1937-, vol. IV, p. 387).

<sup>3</sup> Si tratta di ingrandimenti lineari e non areolari, come quelli adoperati, ad esempio, da Galileo (e rimasti a lungo in uso in microscopia), per il quale un ingrandimento di 1000 volte significava poco più di 30 x. In altri termini, osservare ad esempio la Luna con un telescopio da 10x, equivale, con buona approssimazione, a vederla come se essa si trovasse 10 volte più vicina.

In ottica si definisce potenza di una lente il reciproco della sua distanza focale, della quale assume il segno, e si esprime in diottrie. Una diottria equivale alla potenza di una lente di un metro di focale. Data quindi la potenza di una lente (e questo, di norma, è il solo valore che gli ottici forniscono), la focale, in metri, risulta:

$$f = 1 / D \quad (2)$$

dove D è appunto la potenza ottica delle lenti espressa in diottrie.

Conoscendo le potenze ottiche dell'obiettivo e dell'oculare, si può pertanto ricavare immediatamente il valore dell'ingrandimento dello strumento senza calcolare le loro rispettive focali. Dalla (2) segue infatti che  $f_{ob} = 1 / D_{ob}$  e  $f_{oc} = 1 / D_{oc}$ , dove  $D_{ob}$  e  $D_{oc}$  sono le potenze ottiche, espresse in diottrie, rispettivamente dell'obiettivo e dell'oculare. La (1) diviene pertanto:

$$I = f_{ob} / f_{oc} = (1 / D_{ob}) / (1 / D_{oc}) = D_{oc} / D_{ob} \quad (3)$$

L'ingrandimento è quindi esprimibile anche come rapporto tra la potenza ottica dell'oculare e la potenza ottica dell'obiettivo.

Da quanto detto, risulta evidente che l'ingrandimento di un telescopio aumenta all'aumentare della focale (ovvero al diminuire della potenza ottica) dell'obiettivo e/o al diminuire della focale (ovvero all'aumentare della potenza ottica) dell'oculare. Si potrebbe allora pensare, agendo su questi due parametri, di poter accrescere ad libitum l'ingrandimento di un telescopio<sup>4</sup>. Esiste tuttavia un ingrandimento massimo oltre il quale è non solo inutile spingersi, ma addirittura svantaggioso, poiché l'immagine diviene scura e confusa. Come vedremo tra breve, il valore di questo ingrandimento dipende dall'apertura (o pupilla di entrata), ossia dal diametro utile dell'obiettivo.

L'apertura è il parametro che più di ogni altro caratterizza un telescopio. Utilizzando una similitudine automobilistica, potremmo dire che essa rappresenta per un telescopio un po' quello che, per un motore, è la cilindrata. Il motore di un'automobile può infatti essere progettato per esaltarne alcune caratteristiche piuttosto che altre, ma, al fine, è la cilindrata che ci dice quello che possiamo aspettarci da esso in termini di prestazioni. Similmente, è l'apertura di un telescopio - e non la sua lunghezza o il numero degli ingrandimenti - che ne determina la potenza. Dall'apertura dipendono infatti:

- la magnitudine limite, ovvero la luminosità dell'oggetti più deboli che si possono osservare
- potere risolvete<sup>5</sup>, cioè l'angolo più piccolo che lo strumento riesce a separare dal quale dipendono le dimensioni apparenti dei dettagli più minuti che esso è in grado di mostrare

L'obiettivo di un telescopio può, infatti, essere pensato come un collettore di luce, una sorta di imbuto che raccoglie i raggi luminosi e li concentra nel fuoco. È ovvio quindi che la capacità di raccogliere la luce cresce con l'apertura e, più esattamente, con il suo quadrato. Poiché, alla sua massima dilatazione, la pupilla dell'occhio umano ha un diametro di circa 7 mm, un obietti-

<sup>4</sup> Vi sono comunque limiti inferiori, di natura pratica, alla focale degli oculari (in commercio non esistono oculari con focali inferiori ai 4 mm). Infatti quanto più essa è breve, tanto più è necessario avvicinare l'occhio alla lente esterna dell'oculare e, oltre un certo valore, le ciglia e la condensa degli umori dell'occhio rendono impossibile l'osservazione.

<sup>5</sup> Detto anche potere risolvente o potere risolutivo o potere separatore.

vo, ad esempio, 70 mm di apertura, ha una superficie di circa 100 (= (70 / 7)<sup>2</sup>) volte superiore e sarà perciò in grado di mostrare oggetti molto meno luminosi di quelli osservabili ad occhio nudo. La magnitudine limite (visuale) è facilmente calcolabile con la formula:

$$M = 6,8 + 5 \text{ Log } A \quad (4)$$

dove A è l'apertura dello strumento espressa in cm. In base alla (4), l'obiettivo dell'esempio precedente, con la sua apertura di 7 cm, mostrerà quindi stelle di magnitudine 11 (= 6,8 + 5 • Log 7)<sup>6</sup>.

Quanto al potere separatore, esso può essere ricavato con la classica formula

$$P_r = 120'' / A \quad (5)$$

dove  $P_r$  è il potere separatore espresso in secondi d'arco e A è l'apertura dello strumento in mm. L'obiettivo del nostro esempio sarà quindi in grado di risolvere una stella doppia le cui componenti hanno una separazione angolare di circa 1,7'' (= 120'' / 70). Questo angolo, ad esempio, corrisponde sulla superficie della Luna, che ha un diametro (medio) apparente di circa 31' ed un diametro reale di 3476 km, a particolari di circa 3,2 km.

Sebbene l'apertura sia l'elemento più importante di un telescopio, anche l'ingrandimento riveste grande importanza. Se infatti, come si è detto, esiste un valore limite dell'ingrandimento (indicativamente uguale al doppio dell'apertura espressa in millimetri), oltre il quale l'immagine si deteriora, un ingrandimento troppo basso non consente di sfruttare tutto il potere separatore dell'apertura. Inoltre per valori al di sotto di una soglia critica, il cosiddetto ingrandimento minimo, la pupilla di uscita, cioè il diametro del fascio di luce uscente dall'oculare, è maggiore del diametro della pupilla alla sua massima apertura (ca. 7 mm). In altri termini, al di sotto dell'ingrandimento minimo, non si sfrutta l'intera apertura, esattamente come se l'obiettivo fosse diaframmato. L'ingrandimento minimo è ricavabile dalla formula  $I_{\text{Min}} = A / 7$ , dove A è l'apertura espressa in millimetri<sup>7</sup>.

Di particolare interesse è invece il cosiddetto ingrandimento risolvete, quello cioè che consente di sfruttare a pieno tutto il potere separatore dello strumento. Esso è legato al potere separatore dell'occhio umano, il cui valore è variabile da individuo a individuo e, per uno stesso individuo, dalle condizioni in cui si osserva<sup>8</sup>. Senza qui entrare in dettagli, l'ingrandimento risolvete è di solito considerato uguale alla metà dell'apertura espressa in millimetri.

Un accenno, infine, all'ultimo elemento che ci consente di definire le caratteristiche di un sistema telescopico, ossia il campo visuale. Abbiamo già accennato al fatto che il maggior limite del

<sup>6</sup> Si ricorda che, ad occhio nudo, sono osservabili stelle fino alla 6° magnitudine.

<sup>7</sup> Poiché l'ingrandimento I è esprimibile anche come rapporto tra la pupilla di entrata A e la pupilla di uscita  $P_u$ , affinché sia  $P_u / I \geq 7$  è necessario che sia  $I \leq A / 7$ .

<sup>8</sup> Il potere separatore dell'occhio umano è solitamente assunto uguale ad 1' d'arco, un valore che non sempre corrisponde alla realtà. Più realisticamente il suo valore corrisponde a 75,80'' e diminuisce sensibilmente all'aumentare della dilatazione pupillare.

telescopio galileiano risiede proprio nel suo campo visivo, la cui ampiezza è assai inferiore a quella di un kepleriano di pari ingrandimenti (Fig. 3)<sup>9</sup>.



Fig. 3 Foto dello stesso oggetto ottenute con un telescopio kepleriano (a sinistra) e con un galileiano di pari ingrandimenti (a destra).

Si noti l'enorme differenza di ampiezza dei due campi visuali.

(Fonte [http://www.pacifier.com/~tpepe/Galilean\\_Optics\\_Page.htm#Galilean\\_Telescope](http://www.pacifier.com/~tpepe/Galilean_Optics_Page.htm#Galilean_Telescope) data di accesso 10 maggio 2009)

Il motivo di tanta differenza è facilmente comprensibile confrontando gli schemi delle due combinazioni ottiche: mentre nel kepleriano i raggi in uscita dall'oculare convergono verso l'occhio, nel galileiano, essi divergono. Ciò implica che il campo visivo di quest'ultimo, al contrario di quanto avviene nel kepleriano, dipenda anche dalla distanza dell'occhio dall'oculare e dal diametro della pupilla, che varia in funzione della luminosità dell'astro osservato e dell'ambiente esterno: quanto più si accosta l'occhio all'oculare e quanto più la pupilla è dilatata, tanta più parte del fascio luminoso quest'ultima riuscirà a intercettare, aumentando così le dimensioni del campo visivo. Per lo stesso motivo, lo strumento manifesta un'evidente vignettatura (illuminazione non del campo uniforme e progressivamente decrescente ai bordi), e la porzione di oggetto inquadrata varia, curiosamente, spostando l'occhio dall'alto in basso o di lato. Nel galileiano inoltre, diaframmando l'obiettivo, oltre alla luminosità dell'immagine, si riduce anche il campo visivo. Chiunque abbia posto almeno una volta l'occhio all'oculare di uno strumento di questo tipo sarà rimasto colpito dalla strana impressione che fa, all'altra estremità del tubo, la minuscola luce dell'obiettivo<sup>10</sup>. La prima sensazione è quasi quella di osservare attraverso un buco di serratura.

<sup>9</sup> Per la determinazione del campo visivo del cannocchiale galileiano si rimanda a [http://www.pacifier.com/~tpepe/Galilean\\_Optics\\_Page.htm#Galilean\\_Telescope](http://www.pacifier.com/~tpepe/Galilean_Optics_Page.htm#Galilean_Telescope), per quella del campo visivo del kepleriano si può vedere P. Andrenelli, (19772), Firenze, Ed. Sansoni, pp. 23 e segg.

Com'è noto, una lente è affetta da aberrazione cromatica, responsabile di quel fenomeno di iridescenza ai bordi delle immagini che si osserva nei binocoli e nei rifrattori di bassa qualità. È questo il motivo per il quale l'obiettivo dei moderni telescopi rifrattori è composto di almeno di due lenti (obiettivo acromatico). Tuttavia, anche in un obiettivo composto da una singola lente, gli effetti dell'aberrazione cromatica possono essere facilmente ridotti diminuendo l'apertura relativa dello strumento (o, il che è lo stesso, aumentandone la focale relativa), un espediente già noto ai costruttori di telescopi del XVII. Per una data apertura esiste un valore della focale al di là del quale l'aberrazione cromatica non è più rilevabile. Esso è dato dalla formula

$$f = 19,6 \cdot A^2$$

dove A è l'apertura espressa in centimetri, da cui:

$$A = \sqrt{f / 19,6} \quad (6)$$

che permette di ricavare, data la focale dell'obiettivo, l'apertura massima consentita affinché non si manifesti alcun cromatismo.

## 2. Il progetto ottico e la costruzione

Il progetto di un telescopio è funzione dell'utilizzo al quale esso è destinato. Di norma, una volta stabilita il tipo di combinazione ottica da adottare, il progetto prende l'avvio dalla definizione dell'apertura, che determina le dimensioni e quindi i costi finali dello strumento, i cui limiti sono imposti dal budget disponibile. Nel nostro caso, l'apertura non è vincolante poiché i diametri standard, normalmente compresi tra 50 e 70 mm, dei menischi da occhiali sono decisamente sovrabbondanti per le focali dell'obiettivo che è ragionevolmente possibile adottare in uno strumento per uso didattico. Per questo motivo, quindi, la determinazione della focale della lente obiettiva è il primo passo da compiere.

Nei menischi di potenza ottica positiva, utilizzati in oculistica per la correzione dell'ipermetropia e della presbiopia, le potenze partono da + 0,25 D e salgono con intervalli di  $\frac{1}{4}$  di diottria. Per ottenere ingrandimenti che consentano di effettuare osservazioni di un certo interesse, è economicamente conveniente adottare lunghe focali dell'obiettivo, piuttosto che ricorrere all'utilizzo di oculari di grande potenza, utilizzati per miopie gravi e molto costosi<sup>11</sup>. Tuttavia un'eccessiva lunghezza dello strumento pone problemi di maneggevolezza ed esige montature idonee. Per questo motivo non sono da prendere in considerazione i menischi di potenza + 0,25 e + 0,50, con focali rispettivamente di 4 e 2 m (sebbene, forse, potrebbe valere la pena di tentare l'utilizzo del secondo). Un buon compromesso è costituito da un menisco da + 0,75,

<sup>10</sup> Tra le strane proprietà del telescopio galileiano, vi è anche l'inconveniente di risultare visibile dell'eventuale sporco depositato sull'obiettivo.

<sup>11</sup> Il significativo aumento di prezzo, normalmente in corrispondenza delle 10 diottrie, è dovuta al fatto che, per contenere gli spessori delle lenti, si utilizzano vetri speciali al titanio o al lantanio ad alto potere rifrangente.

che, con una focale di circa 133 cm, consente di contenere la lunghezza complessiva dello strumento entro limiti accettabili, o da + 1,00 D ( $f = 1 \text{ m}$ ). Sono invece sconsigliabili potenze superiori a 1 diottria, ovvero focali inferiori a 1 m, che forniscono, a parità di oculare ingrandimenti troppo bassi.

Stabilita la lunghezza focale della lente obbiettiva, dalla (6) otteniamo poi il valore della massima apertura consentita affinché non si manifestino gli effetti dell'aberrazione cromatica (e delle aberrazioni geometriche). Per un obiettivo di potenza ottica + 1,00, l'apertura massima risulta essere 2,3 [ $= \sqrt{(100 / 19,6)}$ ] cm; 2,6 cm per un menisco da + 0,75. Questi valori rappresentano quindi il diametro del diaframma, che potrà essere realizzato in semplice cartoncino bristol, da anteporre all'obbiettivo. In pratica, si potrà forzare l'apertura fino a 30 mm, ma non di più. L'apertura relativa, risulterà pertanto estremamente piccola, dell'ordine di  $f/50$ . Si tratta di aperture tipiche, al giorno d'oggi, dei telescopi solari, tuttavia, come vedremo tra breve, il percorso didattico trova proprio nell'osservazione del Sole e della Luna ai quali la luminosità non fa difetto (con aperture relative fino a  $f/15$ , soprattutto al novilunio, si ricorre spesso all'uso di un filtro che attenui la luce anche nelle osservazioni lunari).

Con aperture di 25÷30 mm, le prestazioni dello strumento saranno piuttosto modeste: la magnitudine (visuale) limite sarà  $M = 9$ , mentre il potere separatore sarà di circa 4" d'arco, corrispondenti sul disco lunare a particolari di circa 8 km. Si tratta di valori del tutto teorici, che non tengono conto del cromatismo residuo introdotto dall'oculare, anch'esso costituito da una sola lente, né di altri fattori quali le aberrazioni extrassiali (in vero estremamente contenute, data la piccolissima apertura relativa dello strumento), delle luci parassite dovute alla mancanza di diaframmi intermedi e al mancato annerimento della superficie interna del tubo ecc.. Ciononostante lo strumento sarà in grado di mettere lo studente, opportunamente guidato dall'insegnante, un primo studio sistematico della Luna e del Sole.

Ricavato il valore dell'apertura, è finalmente possibile stabilire il numero degli ingrandimenti, o, in altri termini, la focale dell'oculare. Per un'apertura di 30 mm, la teoria prevede un ingrandimento minimo di 4,5x ( $= 30 / 7$ ), ottenibile con un oculare di potenza ottica di - 3,25 D o - 3,50 D. Per quanto detto precedentemente, sappiamo però che l'ingrandimento risolvibile è almeno di 15x, ottenibile con un oculare di - 11,25 D, un valore che, come si è detto, fa lievitare significativamente il prezzo d'acquisto.

Le considerazioni sin qui fatte inducono a prendere in seria considerazione l'ipotesi di abbandonare lo schema galileiano in favore di quello kepleriano, cioè ad oculare positivo. I vantaggi sono considerevoli, sia in termini di costi che di prestazioni. Del resto, non bisogna dimenticare che lo scopo del percorso didattico, pur nel suo approccio storico alle scoperte astronomiche, è principalmente quello di far acquisire agli studenti alcune conoscenze astronomiche di base attraverso l'osservazione diretta del cielo. Le prestazioni dello strumento sono pertanto prioritarie rispetto ad una ricostruzione filologicamente rigorosa del telescopio utilizzato da Galileo, la quale, come si è visto, implica costi elevati e maggior difficoltà di utilizzo.

Viceversa, adottando la combinazione kepleriana è possibile ottenere forti ingrandimenti con spese assai modeste. Piccole lenti positive sono infatti facilmente

reperibili a costi estremamente contenuti o addirittura nulli. Nei mercatini rionali o di modernariato e piccolo antiquariato (specialmente in quelli di materiale proveniente dall'ex blocco sovietico), sono in vendita, al costo di pochi euro, quei monocli adoperati da orologiai e gioiellieri, realizzati interamente in plastica (Fig. 4).



Fig. 4 Foto dell'autore

Le focali di questi monocli sono tipicamente di 3-5 cm, equivalenti a 20 o più diottrie, potenze che, utilizzando la combinazione galileiana, richiedono l'acquisto di menischi negativi piuttosto costosi.

In ogni caso, per realizzare l'oculare, positivo o negativo che sia, di un telescopio autocostruito, si può far ricorso a elementi ottici di recupero. Spesso in casa, si trovano piccole, ma potenti lenti provenienti dalle apparecchiature più disparate: microscopi giocattolo non più utilizzati, apparecchi ottici fuori uso ecc. Chi scrive ha ricavato una lente negativa (biconcava) - di oltre 23 diottrie di potenza! - dall'obiettivo di una vecchia macchina fotografica di fabbricazione russa, al quale, in seguito ad una caduta accidentale, si era rotta la lente anteriore. Questa lente in abbinamento ad un menisco da + 0,75 D, e fornisce un ingrandimento, di tutto rispetto, di oltre 30x.

L'autore ha inoltre ottenuti ottimi risultati utilizzando obiettivi di macchine fotografiche usa e getta (Fig. 5 e 6).



Fig. 5 Fotocamere usa e getta di varie marche, reperite gratuitamente in un negozio di foto ottica (Foto dell'autore)



Fig. 6 Gli obiettivi smontati delle fotocamere dell'illustrazione precedente. A sinistra, dentro l'astuccio, sono visibili due obiettivi a lente singola, al centro gli obiettivi composti delle due fotocamere Kodak; sulla destra l'obiettivo descritto nel testo, ricavato da un vecchio episcopio (Foto dell'autore)

Si tratta di obiettivi a lente semplice o, nelle versioni più sofisticate, a più lenti. La resa di questi ultimi è decisamente superiore e paragonabile a quella di un oculare composto

di qualità media, dal prezzo di alcune decine di Euro, se non addirittura superiore. Utilizzando uno di essi, proveniente da una fotocamera Kodak usa e getta, in abbinamento ad un doppietto acromatico di 60 mm di apertura e 316 mm di focale (f/5,27), ricavato dall'obiettivo di un vecchio episcopio fuori uso, si è ottenuto, praticamente a costo zero, un cannocchiale estremamente compatto da circa 10x, che rivaleggia, per prestazioni, con molti binocoli di pari ingrandimento. Procurarsi questi obiettivi è facile e gratuito: una volta aperti per estrarne la pellicola e svilupparla, i corpi-macchina non hanno infatti più alcun utilizzo e i gestori dei negozi di foto ottica saranno ben lieti di regalarli, anche perché, in quanto rifiuti speciali, queste carcasse debbono essere smaltite da ditte specializzate.

Questi piccoli obiettivi rappresentano, a nostro avviso, la soluzione migliore e non solo per la l'ottima qualità ottica (se il loro prezzo non fosse nullo, potremmo dire l'ottimo rapporto qualità/prezzo!). Il fatto di essere reperibili gratuitamente, infatti, abbatte almeno del 50% il costo complessivo dello strumento (e, come si è detto, di una percentuale assai maggiore nel caso si voglia acquistare menischi da occhiali superiori alle 10 diottrie), il che rende economicamente accessibile la realizzazione, in una stessa classe, di più di un telescopio. Poiché il prezzo di un menisco da occhiali da + 0,75 D si aggira attorno ai 10 Euro, potendo disporre a piacimento di oculari gratuiti, si può pensare di costruire un telescopio ogni 3-5 studenti con costi procapite compresi rispettivamente tra i 3 e i 2 Euro circa.

Per la realizzazione del tubo e dei barilotti, cioè gli alloggiamenti delle ottiche<sup>12</sup>, possono essere utilizzati materiali di recupero, reperibili gratuitamente con grande facilità. Ottimi i tubi in cartone presenti all'interno dei rotoli di stoffa o dei binari elettrificati per illuminazione di interni, o i tubi da disegno non più utilizzati. Ognuno potrà scegliere le soluzioni che preferisce. Utili suggerimenti possono essere reperiti alla pagina del sito dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza (vedi [sitografia](#)) **Costruirsi un cannocchiale galileiano** [<http://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/indice.html>]. Un altro sito molto interessante, in lingua inglese, forse il più completo sulla teoria e sulla pratica del telescopio galileiano, è il seguente: **CCD Images from a Galilean Telescope** [<http://www.pacifier.com/~tpepe/index.htm>] e, in particolare, la pagina **Building a Galilean Telescope** [[http://www.pacifier.com/~tpepe/Building\\_A\\_Galilean\\_Telescope.htm](http://www.pacifier.com/~tpepe/Building_A_Galilean_Telescope.htm)], specificatamente dedicata alla costruzione.

In **appendice A** [[allegati/appendice\\_A](#)] sono inoltre riportate alcune foto inviatemi dalla Prof.ssa Annalisa Salomone, insegnante della Classe II A dell'Istituto Comprensivo Paolo Sarpi di Settimo Milanese (MI) [<http://www.scuolasarpi.settimomilanese.scuolaeservi-zi.it/>], relative alla costruzione di un piccolo galileiano da 4,5x, costruito in classe con i suoi studenti, nel quale i barilotti sono stati ricavati dai tappi dei tubi da disegno utilizzati per realizzare il tubo del telescopio.

Del resto la realizzazione della parte meccanica del telescopio è un problema semplice al quale, con un po' di fantasia, ogni insegnante, e addirittura ogni studente, saprà

<sup>12</sup> Il termine barilotto è di norma riferito all'alloggio degli elementi a rifrazione; per quello degli elementi a riflessione si usa in genere il termine culla.

trovare la soluzione migliore in base ai materiali che ha a disposizione. Vogliamo qui solo ricordare alcuni consigli di ordine pratico:

- I menischi da occhiali, soprattutto se di qualità non eccelsa, possono presentare potenze effettive lievemente diverse da quella nominale. Ciò non rappresenta un grosso problema, poiché il tubo che contiene la lente oculare ha di solito una ampia corsa capace di compensare abbondantemente queste eventuali differenze (ed eventuali difetti di vista). In ogni caso non è superfluo ricordare che, prima di tagliare a misura il tubo principale e quello portaoculare, è opportuno verificare la corretta distanza delle lenti. In ogni caso si ricorda che l'ottico presso il quale si acquisteranno le lenti è in grado in pochi secondi di leggerne la potenza effettiva per mezzo di un frontifocometro. Ciò permetterà anche di ricavare, per via analitica, l'effettivo ingrandimento dello strumento
- Se il diametro dei tubi prescelti fosse inferiore a quello delle lenti acquistate e si avesse difficoltà a reperire tubi di diametro maggiore, è possibile, di norma senza ulteriori ricami, farle molare a misura dall'ottico preso il quale si è effettuato l'acquisto
- Per garantire un corretto allineamento delle ottiche, è bene assicurarsi che il tubo prescelto sia perfettamente rettilineo e di sufficiente rigidità da non flettere sotto il proprio peso una volta che vi siano state applicate le lenti (dovendo sopportare pesi notevoli, i tubi di cartone posti all'interno dei rotoli di stoffa o altro materiale sono, di norma, piuttosto robusti e perfettamente idonei allo scopo)
- Sebbene, per così piccole aperture relative, non costituisca un fattore critico, è comunque opportuno, qualunque sia la soluzione adottata per la realizzazione dei barilotti, porre la massima cura al fine di ottenere la massima perpendicolarità delle lenti all'asse ottico dello strumento

Una considerazione, infine, circa il modo di sorreggere lo strumento. Ingrandimenti superiori a  $8 \div 10x$  rendono impraticabile l'osservazione a mano libera ed è quindi necessario ricorrere ad un qualche tipo di montatura. La soluzione più semplice è rappresentata da un semplice stativo per macchine fotografiche.

### 3. L'osservazione della luna

Senza dubbio il corpo celeste più facile da osservare, «la Luna ha sempre fatto le spese di tutti coloro che per la prima volta hanno posto l'occhio ad un cannocchiale»<sup>13</sup>. Anche attraverso strumenti estremamente modesti, il nostro satellite mostra una gran quantità di dettagli ed è quindi l'oggetto ideale per il primo approccio all'osservazione del cielo. Il nostro telescopio sarà in grado di mostrare chiaramente l'esatto contorno dei mari e un certo numero di formazioni lunari, tra cui i principali rilievi montuosi e i crateri di dimensioni maggiori. In prossimità del plenilunio, inoltre, saranno ben visibili, attorno ad alcuni crateri quali Tycho e Kepler, grandi e luminosissime raggiere (del resto individuabili, in particolari condizioni, anche ad occhio nudo).

<sup>13</sup> P. Andrenelli, *L'astronomo dilettante*, 19772, Firenze, Ed. Sansoni, p. 235.

Sarebbe opportuno, anche se non essenziale, far precedere all'osservazione telescopica un breve percorso teorico che introduca lo studente alle principali caratteristiche della Luna come corpo celeste (distanza dalla Terra, dimensioni<sup>14</sup>, massa, densità ecc.), seguito eventualmente da un ciclo di osservazioni ad occhio nudo eseguite sull'intera lunazione, o su parte di essa, al fine di comprenderne bene i moti dell'astro rispetto alle stelle fisse e al Sole, il ciclo delle fasi ecc. È tuttavia assolutamente importante, in questa fase, che il docente non affronti in alcun modo argomenti legati agli aspetti morfologici e geologici della superficie lunare. È pur vero che, nell'era delle esplorazioni spaziali e a quarant'anni esatti dal primo sbarco sulla Luna, tutti noi abbiamo un'idea più o meno precisa dell'aspetto e delle condizioni fisiche della superficie lunare; tuttavia fornire nozioni di questa natura, prima che gli studenti utilizzino il telescopio, comprometterebbe gravemente quel processo di interpretazione e di elaborazione autonoma delle informazioni e delle impressioni visive che provengono dall'osservazione diretta.

Terminata questa prima fase, si può dare l'avvio alle prime osservazioni telescopiche, organizzate in funzione del numero di cannocchiali che si saranno costruiti in classe. È sconsigliabile eseguire la primissima osservazione al novilunio o in prossimità di esso, quando l'illuminazione a perpendicolo fa sì che le formazioni della superficie lunare non proiettino ombre, impedendo così di percepirne i rilievi e le asperità. Di grande fascino e attrattiva, soprattutto per chi osserva per la prima volta attraverso un telescopio, è invece la Luna al primo o all'ultimo quarto<sup>15</sup>, quando il terminatore attraversa le regioni centrali del disco lunare, ricche di imponenti rilievi e di grandi crateri.

Per le considerazioni precedentemente fatte, è assolutamente importante che, in questo primo approccio, che lo studente sia lasciato totalmente libero di osservare, "vagando", nella più completa autonomia, alla scoperta della Luna. Solo dopo sarà invitato ad eseguire, per così dire dal vivo, cioè direttamente nel corso dell'osservazione, disegni della superficie lunare. In seguito gli si chiederà una descrizione scritta di ciò che ha visto e disegnato e di come lo ha interpretato. Queste relazioni individuali saranno poi discusse collettivamente in classe, evidenziando eventuali discrepanze tra i singoli resoconti, al fine di elaborare una descrizione, la più condivisa possibile, delle apparenze lunari.

Queste prime osservazioni hanno lo scopo di far prendere dimestichezza con lo strumento e le sue difficoltà (sostenerlo durante l'osservazione, inseguire l'astro nel rapido moto diurno ecc.) e, soprattutto, di acquisire quella capacità di distinguere e interpretare correttamente ciò che appare nel campo dello strumento. Nei giorni successivi, proseguendo le osservazioni, si chiederà un approccio più rigoroso, chiedendo ai ragazzi di osservare con maggiore attenzione i fenomeni visibili sulla superficie lunare. Si potrà, ad esempio, concentrare l'attenzione sulla zona in prossimità del terminatore, eseguirne dei disegni e, ripetendo l'osservazione a distanza di qualche ora o la sera successiva, registrare l'avanzamento di quest'ultimo sul disco lunare.

---

<sup>14</sup> Al riguardo, si veda il percorso didattico, facente anch'esso parte del progetto PON Scienze, Il cielo in una stanza, anch'esso afferente al nucleo tematico «Terra e Universo», ideato dal Prof. Fabio Falchi.

<sup>15</sup> Per motivi di orario, ma anche per la maggior varietà di forme che i mari presentano nella metà occidentale del disco, è decisamente preferibile il primo quarto.

Terminata questa prima fase, si potrà intraprendere una serie sistematica di osservazioni quotidiane sull'arco della prima metà della lunazione, periodo durante il quale il terminatore avrà attraversato l'intero disco lunare consentendo di evidenziarne tutte le formazioni. Se, al causa del maltempo, ci si trovasse nell'impossibilità di compiere osservazioni, i giorni mancanti saranno recuperati, per quanto possibile, nella lunazione o nelle lunazioni successive. Nel corso di ciascuna osservazione, della quale saranno accuratamente annotati il giorno e l'ora, verranno eseguiti disegni a mano libera della superficie lunare. Si spiegherà agli studenti che lo scopo di questa campagna di osservazioni è quello di elaborare una selenografia, cioè una cartografia della superficie lunare, e pertanto si chiederà loro di riprodurre, con la massima esattezza possibile, forma, grandezza e posizione delle varie formazioni mostrate dal telescopio. Per facilitare il lavoro, si tratterà preventivamente sul foglio, col compasso, un cerchio del diametro di 10÷15 cm, che rappresenterà il bordo del disco lunare o il contorno del campo visuale<sup>16</sup>. Ciascuno studente raccoglierà poi in un carnet, disposte in ordine progressivo di fase (che, per quanto detto, può non corrispondere all'ordine cronologico), le proprie osservazioni.

In seguito, utilizzando i vari contributi individuali, si procederà alla stesura, in classe, di un'unica carta lunare, di dimensioni maggiori, nella quale, dalla rappresentazione "realistica" e personale dei singoli studenti, si passerà ad un sistema convenzionale di segni cartografici per indicare i vari tipi di formazioni (ad esempio, un cerchio a doppio bordo, con l'ombra rivolta in una certa direzione costante, per indicare i crateri; la stessa tonalità di grigio scuro per indicare i mari ecc.). Al termine del lavoro, insegnante e alunni potranno verificare la qualità della mappa così ottenuta, confrontandola con un atlante lunare cartaceo o digitale (v. sitografia). Infine, sempre avvalendosi dell'atlante, si collocheranno sulla carta realizzata in classe i nomi delle varie formazioni individuate dagli studenti, o scrivendoveli direttamente sopra o, meglio, facendo ricorso ad una legenda che faccia corrispondere al nome di ciascun cratere un numero sulla mappa e segnando su questa solo il nome dei mari, dei rilievi montuosi e delle altre formazioni maggiori.

#### 4. Fotografare le luna

Come attività alternativa o, meglio, complementare, alle rappresentazioni della superficie lunare eseguite a mano libera, si può tentare la strada della fotografia. Avvalendosi di fotocamere digitali, oggi diffusissime, la tecnica è piuttosto semplice. Non è necessario, infatti, che la fotocamera sia particolarmente sofisticata; una piccola compatta ad obiettivo fisso è sufficiente. Dopo aver settato la messa a fuoco su infinito, cioè in posizione "paesaggio" (indicata sulle macchine digitali dai due triangolini di grandezza lievemente diversa, che stanno a rappresentare due montagne), se ne accosta l'obiettivo all'oculare del telescopio, avendo cura di tenere la macchina ben centrata sull'oculare e perpendicolare all'asse ottico. Sebbene la Luna richieda di norma esposizioni piuttosto brevi, la piccola apertura relativa con cui si è costretti ad operare

<sup>16</sup> Il diametro apparente della Luna, così come quello del Sole, è di circa  $\frac{1}{2}$  grado. Strumenti con campi visuali maggiori o uguali a tale valore mostreranno il disco lunare tutto assieme, strumenti con campi visuali minori ne mostrano solo un parte alla volta.

allunga notevolmente i tempi di esposizione<sup>17</sup> (che sono comunque, di norma, inferiori a 1"), e può rendersi necessario, a meno che essa non disponga dello stabilizzatore di immagine, oggi sempre più diffuso anche in apparecchi di fascia medio-bassa, sostenere la fotocamera per mezzo di uno stativo.

In ogni caso, anche se le immagini così ottenute dovessero risultare mosse e poco nitide, le fotografie saranno utili per affinare i disegni a mano libera, aiutando a collocare su di essi con maggior precisione i mari e i crateri (almeno i più importanti).

## 5. L'elaborazione dei dati: la formulazione e la verifica delle ipotesi

Il lavoro sin qui svolto costituisce una parte importante e stimolante, in grado senza dubbio di coinvolgere e interessare anche gli studenti meno motivati, dell'intero percorso. Tuttavia l'unità didattica non deve limitarsi allo studio della Luna sotto l'aspetto selenografico, ma deve condurre ad una seconda, importantissima, fase nella quale gli studenti saranno chiamati ad elaborare, collettivamente e nella massima autonomia, i dati osservativi. Come nella fase di osservazione e restituzione grafica della superficie lunare, anche in questa circostanza, quindi, l'intervento dell'insegnante dovrà essere ridotto al minimo. Egli si limiterà a indirizzare i ragionamenti e le deduzioni degli studenti, eventualmente ponendo loro delle domande le cui risposte possano essere ricavate dall'osservazione dei fenomeni:

*Tra la superficie terrestre e quella lunare vi sono differenze significative? Quali? O, viceversa, c'è una sostanziale somiglianza? La Luna ha un'atmosfera? I ragazzi hanno mai osservato delle nuvole sulla sua superficie? Ha dei mari? Se sì, sono fatti di acqua come quelli terrestri, o di altre sostanze? E se invece non ne ha, allora che cosa sono quelle enormi distese scure che appaiono lisce e pianeggianti? La Luna mostra delle grandi catene montuose simili a quelle terrestri, ma perché la sua superficie appare disseminata di una moltitudine di crateri di tutte le dimensioni? Anche la Terra vista da così lontano ci apparirebbe cosparsa di crateri? Vi sono delle formazioni analoghe sul nostro pianeta? I vulcani, certo! Possiamo mettere in relazione le grandi raggiate che si irradiano da alcuni crateri lunari con l'attività vulcanica? Potrebbe trattarsi di uno strato di lapilli e ceneri scagliati a grande distanza durante l'eruzione? Ma quanto sono estese queste bande luminose? Misuriamoli sulla mappa lunare (è facile perché conosciamo il diametro della Luna): la loro lunghezza è di decine o addirittura di centinaia di chilometri. Come è possibile che un vulcano scagli lapilli a così grandi distanze? Proviamo a lanciare un oggetto molto leggero come, ad esempio, un foglietto di carta o una piuma? L'aria li frena, li rallenta, impedendo loro di andare lontano. Ma la luna non ha atmosfera e quindi, non incontrando la resistenza dell'aria, un oggetto lanciato sulla sua superficie può arrivare molto più lontano che sulla Terra. Inoltre sul nostro satellite la gravità è molto minore di quella terrestre, circa un sesto: un uomo di 60 kg sulla luna peserebbe soltanto 10 kg.*

<sup>17</sup> Il tempo di esposizione aumenta in ragione quadratica col diminuire dell'apertura relativa. Ad esempio, a parità di sensibilità della pellicola (o del sensore, in caso di fotocamere digitali), se con uno strumento di apertura relativa  $f/15$  la Luna richiede un'esposizione di  $1/60$  di secondo, con uno strumento di apertura relativa la metà del precedente, cioè  $f/30$ , richiederà un tempo 4 volte superiore, ossia  $1/15$  di secondo.

*Queste due circostanze possono quindi spiegare le enormi dimensioni di alcune raggie. Ma perché la Luna avrebbe così tanti vulcani? Sono, almeno in parte, attivi? I ragazzi hanno mai osservato, sulla superficie lunare il segno di qualche eruzione (grandi nubi nere, vapori incandescenti ecc.) o altri cambiamenti? Sarà perché il telescopio che hanno costruito non è abbastanza potente per osservare questi fenomeni? Con un telescopio più grande sarebbe possibile osservare le eruzioni dei vulcani lunari, o la Luna è un corpo ormai geologicamente morto e i suoi vulcani sono tutti spenti? In ogni caso, il numero così elevato di vulcani sembra suggerire che essa abbia avuto un'attività vulcanica molto più intensa di quella terrestre. Perché? Oppure la mancanza di un'atmosfera e di vita vegetale, che sulla Terra modificano continuamente il paesaggio, ha evitato l'erosione dei vulcani lunari che si sono così conservati intatti?*

*Mettiamo a confronto delle fotografie di vulcani terrestri con quelle di crateri lunari prese dalle sonde spaziali: sono davvero così simili tra loro, o si notano delle differenze? Hanno le stesse dimensioni? È facile verificarlo: avvalendosi di nuovo della mappa lunare, misuriamo il loro diametro. Molti crateri lunari sono assai più larghi di quelli dei vulcani terrestri: i più grandi hanno diametri di molte decine o addirittura di alcune centinaia di chilometri, quelli terrestri, al massimo, di alcuni chilometri. Non è strano che un corpo più piccolo della Terra abbia avuto vulcani tanto più grandi? Osserviamo con più attenzione la loro forma osservando le fotografie della superficie lunare prese dalle sonde spaziali e reperite in internet: i vulcani terrestri hanno la forma di montagne e, più esattamente, di un cono, formato dalla lava che fuoriesce dalla bocca. Ad ogni nuova eruzione il vulcano cresce in altezza e in larghezza. Anche su altri pianeti, le sonde spaziali hanno scoperto vulcani del tutto simili a quelli terrestri. Il più famoso si trova su Marte, si chiama Nix Olympica ed è anche il più grande vulcano conosciuto dell'intero Sistema Solare. Anch'esso presenta la caratteristica forma a cono con il cratere sulla sommità. Dividiamoci in piccoli gruppi e ciascun gruppo, procuratosi (ancora in internet) la fotografia di un diverso vulcano terrestre, misuri con un goniometro la pendenza dei loro fianchi. Queste pendenze variano tra i 30° e i 50°. Al contrario, i crateri lunari sono molto più bassi rispetto alla loro larghezza, e le pareti esterne degradano assai più dolcemente di quelle dei coni vulcanici; il loro interno è quasi piatto o lievemente concavo, a forma di scodella. Sulla Terra esistono crateri molto simili a quelli lunari. Il più noto è senz'altro il Meteor Crater, in Arizona, negli Stati Uniti. Esso ha un diametro di circa 1,2 km e sappiamo che fu generato, dall'impatto di un meteorite*

A questo punto gli studenti vorranno sapere come siamo giunti a stabilire con certezza l'origine meteorica del Meteor Crater? Allora verrà chiesto loro di reperire in internet materiale sull'argomento. Da questa ricerca apprenderanno che, per quanto possa apparire strano, il cratere è stato originato che un meteorite del diametro compreso tra i 15 e 30 metri. Ma come ha potuto un corpo di così modeste provocare una voragine di tali dimensioni, liberando nell'impatto un'energia equivalente a quattro volte quella della bomba atomica di Hiroshima? La risposta sta nella velocità con la quale il meteorite ha colpito la Terra, che è stata calcolata in circa 70.000 km/h. Inoltre, gli studenti impareranno che l'ipotesi meteorica è suffragata da numerose prove quali il rinvenimento, nei dintorni del cratere, di numerosi frammenti di ferro-nichel, la lega di cui sono composte le meteoriti metalliche, e di vetro, formatosi, per l'immenso calore generato dall'impatto, dalla silice contenuta nelle rocce terrestri. Essi verranno anche a conoscenza di una storia affascinante: agli inizi del secolo scorso, Daniel Moreau

Barringer, un ingegnere minerario di Filadelfia, intuì l'origine meteorica del cratere, fino ad allora ritenuto dovuto all'esplosione di gas sotterranei, e ipotizzò che il gigantesco meteorite ferroso che lo aveva generato si trovasse ancora sul fondo della depressione. Questa convinzione era dovuta alla forma pressoché circolare del cratere, che lasciava ipotizzare una traiettoria del meteorite quasi perpendicolare al suolo. Deciso a sfruttare commercialmente il ferro del presunto meteorite, nel 1902, Barringer chiese ottenne dal governo la concessione mineraria, e fondò la Standard Iron Company. In 1903, Barringer giunse sul cratere per eseguire i primi sondaggi sul fondo del cratere. Questi lavori ebbero sempre esito negativo, e Barringer trascorse i successivi 26 anni nell'infruttuosa ricerca del meteorite. Oggi sappiamo che anche un impatto genera crateri pressoché circolari anche quando l'angolo di impatto è modesto.

Alla luce di queste nuove conoscenze, i ragazzi vedranno il problema dell'origine dei crateri lunari sotto una nuova luce.

*Data la grande somiglianza del Meteor Crater con i crateri lunari, è possibile che anche questi ultimi siano stati generati da impatti meteorici? Quest'ipotesi è più convincente di quella dell'origine vulcanica? Perché? In questa nuova ipotesi, a cosa possono essere dovute le raggere che si osservano attorno ai crateri? Avete mai lanciato un sasso in una pozza di fango? Vi ricordate che cosa è successo? Vi è la possibilità di studiare il fenomeno per via sperimentale, riproducendo in laboratorio un impatto meteorico in miniatura? Come? Vi vengono in mente delle idee? Qualcuno avrà già tentato di farlo? Cerchiamo in internet. Se sì, a quali conclusioni è giunto? Le sonde automatiche e le missioni Apollo hanno raccolto prove a favore dell'ipotesi meteorica?*



Fig. 8 Il cratere Bessel ripreso dagli astronauti dell'Apollo 15  
(Fonte [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bessel\\_crater\\_Apollo\\_15.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bessel_crater_Apollo_15.jpg)  
Data di accesso 10 maggio 2009)



**Fig. 9** Il Meteor Crater in Arizona  
(Fonte <http://cache.eb.com/eb/image?id=94733&rendTypeld=4>  
Data di accesso 10 maggio 2009)

Agli studenti sarà chiesto di effettuare, individualmente o in piccoli gruppi, una nuova ricerca in internet inerente gli impatti meteorici, un argomento ricco numerosi di spunti per ulteriori approfondimenti teorici: dagli asteroidi alle comete, dall'estinzione dei dinosauri alla possibilità che ancora oggi uno di questi corpi colpisca la superficie terrestre e all'utilizzo che la cinematografia degli ultimi anni ha fatto dell'argomento. Dopo aver valutato lo specifico contesto scolastico in cui opera, l'insegnante potrà, a sua discrezione, delimitare i confini della ricerca, imponendo specifici argomenti di approfondimento, o, viceversa, lasciare gli studenti totalmente liberi di spaziare, trovando da soli i collegamenti ad altri ambiti disciplinari.

Nel procedere delle attività, l'insegnante dovrà tenere un diario di bordo nel quale annotare accuratamente le reazioni degli studenti alle attività proposte, il grado di interesse che esse hanno suscitato, le eventuali difficoltà incontrate nel processo di elaborazione della spiegazione dei fenomeni osservati e come queste difficoltà siano state superate.

## 6. La librazione lunare

Un possibile approfondimento allo studio della Luna, perfettamente alla portata dello strumento, è l'osservazione della librazione lunare, quel fenomeno cioè di apparente oscillazione pendolare del globo lunare, del quale si era già reso conto Galileo.

Dire che la Luna ci mostra sempre la stessa faccia non è rigorosamente esatto: per effetto della librazione, infatti, la porzione del globo lunare visibile dalla Terra è un po' superiore alla metà dell'intera superficie e ammonta a circa il 59%. Il fenomeno della librazione è piuttosto complesso. Si distinguono una librazione diurna o parallattica,

dovuta al fatto che l'osservatore non si trova al centro della Terra, ma sulla sua superficie. Vi è poi una librazione in latitudine, che si manifesta come un moto oscillatorio periodico, nel senso nord-sud, dell'emisfero lunare rivolto verso la Terra. Essa è dovuta all'inclinazione di  $1^{\circ} 32' 06''$  dell'asse di rotazione lunare - che, esattamente l'asse terrestre, resta parallelo a se stesso - sul piano dell'orbita (a sua volta inclinata di  $5^{\circ} 8' 43''$  sul piano dell'eclittica). Il fenomeno presenta dunque una stretta analogia con quello delle stagioni terrestri ed essendo peraltro, come mostra la Fig. 10, ben rilevabile anche con strumenti modesti osservando il bordo lunare in prossimità dei poli, è di grande interesse didattico.

Una bella animazione che mostra il fenomeno della librazione nel suo insieme (nonché delle variazioni del diametro lunare apparente dovute all'ellitticità dell'orbita) sull'arco di un mese è disponibile alla voce «[Librazione](#)» di Wikipedia, mentre sulla stessa voce, ma in lingua inglese, si trova un'[animazione analoga](#), forse ancor più suggestiva perché non vi sono riprodotte le fasi.



Fig. 10 La librazione in latitudine della Luna  
(Fonte <http://lpod.wikispaces.com/February+2,+2008>  
Data di accesso 30 settembre 2009)

Vi è infine una librazione in longitudine, dovuta al fatto che, contrario del moto di rotazione della Luna sul proprio asse, quello di rivoluzione attorno alla Terra è un moto kepleriano e, quindi, non uniforme. Questo fa sì che in prossimità del perigeo, quando la velocità orbitale è maggiore della velocità media di rivoluzione, la rotazione

accumulerà, per così dire, un lieve ritardo e la Luna mostrerà una piccola porzione oltre il lembo lunare occidentale; in prossimità dell'apogeo, invece, dove la velocità orbitale è minore della velocità media di rivoluzione, la rotazione risulterà in lieve anticipo su quest'ultima e sarà visibile una piccola porzione oltre il lembo orientale.

Anche in questo caso è opportuno far precedere, alla spiegazione del fenomeno, la sua scoperta da parte dell'alunno. A tale scopo, l'insegnante raccomanderà agli studenti, nell'esecuzione delle mappe, la massima cura nel posizionare correttamente i dettagli visibili in prossimità del lembo lunare. Nel lavoro in aula, poi, si metteranno a confronto diretto raffigurazioni eseguite in giorni diversi e l'insegnante richiamerà l'attenzione sul fenomeno. La librazione in latitudine sarà facilmente evidenziata esaminando le mappe eseguite in prossimità plenilunio di due diverse lunazioni, che mostreranno la scomparsa di alcune formazioni in prossimità del lembo settentrionale e la comparsa di altre, prima non osservabili, sul lembo meridionale, o viceversa. Com'è facilmente comprensibile, il ricorso alla fotografia, fornendo una misura oggettiva, sarà di grande aiuto nel rilevamento del fenomeno. Confrontando poi disegni (o le fotografie) ottenuti su un numero maggiore di lunazioni, si potrà anche individuare una certa periodicità del fenomeno.

Rilevato osservativamente il fenomeno, si passerà alla sua spiegazione. Al contrario della altre due componenti, la librazione in longitudine non è di facile comprensione per alunni dell'età qui considerata. L'insegnante tuttavia potrà ugualmente tentare di introdurre l'argomento, se non altro per far loro comprendere, a prescindere dalla librazione in longitudine, che, proprio perché ci mostra sempre la stessa faccia, la Luna ha, in realtà, un moto di rotazione sul proprio asse. Un possibile modo di illustrare questo concetto, non molto intuitivo (per gli antichi la Luna non ruotava!), è quello di utilizzare un modellino vivente del sistema Terra-Luna: uno studente, che rappresenta la Terra, starà fermo in punto dell'aula, mentre l'altro, che rappresenta la Luna, gli ruoterà lentamente attorno in cerchio. A questi verrà chiesto di effettuare un giro, in senso antiorario, attorno al compagno tenendo lo sguardo e la parte anteriore del corpo costantemente rivolti verso un punto lontano fuori della finestra. Gli studenti, anche quelli che si trovano all'esterno del cerchio, si renderanno facilmente conto che, nel corso di un intero giro, lo studente/Luna volge progressivamente allo studente studente/Terra tutti i lati del corpo. Si chiederà poi allo studente/Luna di compiere un secondo giro, tenendo il viso e la parte anteriore del corpo costantemente rivolto verso lo studente/Terra e le mani ai lati delle tempie a rappresentare il proprio orizzonte visivo. Così facendo, egli si renderà conto che l'intera stanza sembrerà ruotargli attorno, e che ogni oggetto o persona che vi si trova sorgerà e tramonterà sul suo orizzonte, emergendo dal palmo di sinistra (est) e scomparendo oltre quello di destra (ovest), comprendendo così che un ipotetico osservatore lunare vedrebbe sorgere e tramontare le stelle nell'arco di un mese sidereo. Successivamente, alla lavagna, l'insegnante formalizzerà il fenomeno in maniera più rigorosa, e, una volta che gli studenti lo avranno ben compreso, si potrà eventualmente tentare di dare una spiegazione della librazione in longitudine.

## 7. L'osservazione del Sole

Di grande attrattiva e al contempo di estrema semplicità è pure l'osservazione del Sole. E' assolutamente tassativo da parte del docente mettere in guardia gli alunni sull'estrema pericolosità dell'osservazione telescopica diretta (cioè senza il ricorso ad opportuni filtri o a dispositivi analoghi) del Sole, la quale può arrecare danni anche irreversibili alla vista. A tale riguardo è consigliabile effettuare questo tipo di osservazioni ricorrendo alla stessa tecnica adoperata da Galileo e ideata dal suo discepolo Benedetto Castelli. Essa consiste nel proiettare l'immagine del Sole su uno schermo chiaro, ad esempio un semplice foglio di carta bianca, posto davanti all'oculare del telescopio. La tecnica, che ha trovato largo impiego fino ai giorni nostri, offre numerosi vantaggi: evita, infatti, l'acquisto di filtri idonei, e - il che la rende totalmente sicura - il rischio di una loro accidentale rottura durante l'osservazione. Inoltre essa si presta ad un approccio di tipo storico, e soprattutto, ricalcando con una matita l'immagine proiettata del Sole, consente di riprodurre con grande esattezza l'aspetto e la dislocazione delle macchie solari. Anziché essere disegnate, le macchie potranno essere fotografate avvalendosi di una fotocamera digitale, direttamente sullo schermo. Se la distanza dello schermo dall'oculare sarà sufficientemente ampia (vedi oltre), la parallasse e il conseguente effetto di ovalizzazione dell'immagine solare saranno minimi.

Il metodo, semplice e versatile, funziona sia con oculari di potenza ottica negativa, sia con quelli di potenza ottica positiva, ovvero sia con i cannocchiali galileiani, sia con i kepleriani. Lavorando per proiezione, l'immagine risulta tanto maggiore quanto più si allontana lo schermo dall'oculare. L'esperienza insegna che la dimensione ottimale dell'immagine proiettata corrisponde approssimativamente a quella dell'apertura del telescopio. Immagini più piccole risultano infatti eccessivamente brillanti e non mostrano tutti i dettagli che lo strumento è potenzialmente in grado di rilevare; immagini di dimensioni maggiori risultano invece poco luminose e richiedono un'attenuazione della luce esterna, per mezzo di un panno scuro, di un schermo opaco, o, se si osserva da una finestra munita di tende, oscurando la stanza. Data la modesta apertura con la quale si è costretti ad operare, è preferibile lavorare con un'immagine che sia almeno 3 o 4 volte più grande di questa (cioè almeno attorno agli 8-10 cm) e ricorrere ad uno dei suddetti espedienti per attenuare la luce dell'ambiente. A questa tecnica, del resto, fece ricorso lo stesso Galileo, come egli stesso ci dice in questo passo che citiamo per esteso perché contiene una chiara descrizione del metodo da utilizzare:

*Devesi drizzare il telescopio verso il Sole, come se altri lo volesse rimirare; ed aggiustatolo e fermatolo, espongasì una carta bianca e piana incontro al vetro concavo, lontana da esso vetro quattro o cinque palmi; perché sopraessa caderà la specie circolare del disco del Sole, con tutte le macchie che in esso si ritrovano, ordinate e disposte con la medesima simmetria a capello che nel Sole son situate; e quanto più la carta si allontanerà dal cannone, tanto tal immagine verrà maggiore e le macchie meglio si Figureranno, e senz'alcuna offesa si vedranno tutte sino a molte piccole, le quali, guardando per il cannone, con fatica grande e con danno della vista appena si potrebbero scorgere. E per disegnarle giuste, io descrivo prima sopra la carta un cerchio, della grandezza che più mi piace, e poi, accostando o rimuovendo la carta dal cannone, trovo il giusto sito dove l'immagine del Sole si allarga alla misura del descritto cerchio: il quale mi serve anco per norma e regola di tener il piano del foglio retto, e*

*non inclinato al cono luminoso de i raggi solari ch'escono del telescopio; perché quando e' fosse obliquo, la sezione viene ovata, e non circolare, e però non si aggiusta con la circonferenza segnata sopra 'l foglio; ma inclinando più o meno la carta, si trova facilmente la positura giusta, che è quando l'immagine del Sole s'aggiusta col cerchio segnato. Ritrovata che si è tal positura, con un pennello si va notando, sopra le macchie stesse, le Figure grandezze e siti loro: ma convien andare destramente secondando il movimento del Sole, e, spesso movendo il telescopio, bisogna procurare di mantenerlo ben dritto verso il Sole; il che si conosce guardando nel vetro concavo, dove si vede un piccolo cerchietto luminoso, il quale sta concentrico ad esso vetro quando il telescopio è ben dritto verso il Sole. E per veder le macchie distintissime e terminate, è ben inscurir la stanza serrando ogni finestra, sì che altro lume non vi entri che quello che vien per il cannone; o almeno inscuricasi più che si può, ed al cannone si accomodi un cartone assai largo, che faccia ombra sopra la carta dove si ha da disegnare e impedisca che altro lume del Sole non vi caschi sopra, fuor che quello che vien per i vetri del cannone.*

Anche in questo caso, si invita l'insegnante a non fornire preventivamente alcun tipo di spiegazione sulla natura del fenomeno, lasciando che l'alunno scopra da solo la presenza delle macchie e ne elabori possibili spiegazioni e implicazioni

*Cosa sono quelle strane macchie che si osservano sull'immagine proiettata del disco solare? Poiché il foglio è pulito e perfettamente bianco, sono forse dovute a graffi o imperfezioni delle lenti del telescopio o, più semplicemente, a dello sporco presente su di esse? Ma, dopo aver verificato la perfetta omogeneità e trasparenza delle lenti ed aver eventualmente provveduto ad una loro accurata pulizia, le macchie persistono immutate, segno che il fenomeno non dipende dallo strumento. Sono allora dovute alle nuvole della nostra atmosfera, o forse a qualche corpo (uccelli, aerei, satelliti artificiali ecc.), situato troppo in alto per essere visto o sentito, interposto tra noi e il Sole? Ma il cielo è sereno e le macchie non presentano (almeno per il momento) movimento alcuno. Tutto sembra dunque suggerire che il fenomeno interessi la superficie del Sole o le sue immediate vicinanze.*

L'osservazione sistematica del Sole condurrà poi alla scoperta di ulteriori aspetti del fenomeno e all'elaborazione di nuove ipotesi: il confronto tra disegni eseguiti su più giorni consecutivi mostrerà, infatti, che le macchie mutano progressivamente nella forma e nelle dimensioni, e che tutte si spostano rispetto al margine del disco solare, compiendo talvolta anche piccoli spostamenti le une rispetto alle altre. Alcune sembreranno comparire dal nulla, altre dissolversi; alcune emergere dal lembo orientale, altre scomparire dietro a quello occidentale. Proseguendo le osservazioni, ci si accorgerà ben presto che le macchie, che permangono sulla superficie solare per un periodo sufficientemente lungo, percorrono trasversalmente l'intero disco in circa due settimane, e, se saranno sopravvissute, le si vedranno addirittura ricomparire sul margine opposto dopo altrettanto tempo.

*Sono dunque le macchie che si muovono sulla superficie del Sole o è il Sole che ruota su se stesso in poco meno di un mese trascinando le macchie? E cosa sono le macchie? Sono nuvole solari, del tutto analoghe a quelle terrestri, o fori che lasciano intravedere le regioni sottostanti del globo solare, o, ancora, aree nelle quali non avviene la "combustione" e sono quindi più fredde e più scure del resto della superficie? Richiamano qualche analogia con la combustione di materiali terrestri (legna che arde, residui e scorie di sostanze bruciate ecc.)? La superficie del Sole è solida o, come invece*

*il moto reciproco delle macchie e la loro rapida evoluzione sembrano suggerire, è fluido come lava incandescente?*

Solo a questo punto l'insegnante potrà indirizzare l'interpretazione che gli studenti hanno dato dei fenomeni osservati, fornendo loro ulteriori spiegazioni e/o chiedendo di approfondire l'argomento attraverso una breve ricerca sull'argomento.

Al termine della campagna di osservazioni, gli studenti, dopo avere passato i vari disegni allo scanner o averli fotografati con una fotocamera digitale, potranno, avvalendosi di un personal computer, montarli in sequenza cronologica, creando così un breve filmato che mostri l'evolvere del fenomeno.

Per ciascuna delle due attività del percorso, la valutazione finale prevede:

- un lavoro di gruppo finalizzato alla costruzione di mappe concettuali che mettano in relazione i fenomeni osservati e le relative interpretazioni;
- una verifica sommativa strutturata in domande chiuse e aperte, volte ad accertare la capacità dello studente di collegare in maniera articolata e coerente le conoscenze acquisite.

Al termine delle attività, inoltre, l'insegnante sottoporrà agli studenti un questionario di feedback, allo scopo di valutare l'interesse che esse hanno suscitato negli studenti e di affinare il percorso didattico per gli anni scolastici successivi.

## Documentazione e materiali

### Bibliografia

- ANDRENELLI P. (1968), *L'astronomo dilettante*, Firenze, Ed. Sansoni (Enciclopedie pratiche Sansoni; 17), 1977
- BELL L. (1922), *The Telescope*. New York, Dover Publications, Inc., 1981
- BROWN S., *Come usare il telescopio*, Como, Cosmo Media International, 1982
- BROWN S., *Come montare il telescopio*, Como, Cosmo Media International, 1984
- CAMEROTA, M., *Galileo Galilei e la cultura scientifica nell'età della Controriforma*, Roma, Ed. Salerno, 2004
- FERRERI W. (1989), *Il libro dei telescopi*, Milano, Il castello, 1992

- FRESA A. (1933), *La Luna: movimenti, topografia, influenze e culto*, Milano, Ulrico Hoepli Editore, 1952
- GODOLI G., *Il Sole: Storia di una stella*, Torino, Einaudi (Piccola biblioteca Einaudi), 1982
- HUGHES H. A. e EVERITT P. F., «On the Field of View of a Galilean Telescope», *Transactions of the Optical Society*, 22 (1920), pp. 15-19, London
- MOORE P., *Guide to the Moon*, London, Eyre & Spottiswoode, 1955 (Tr. Ital. *Guida alla Luna*, Milano, Feltrinelli, 1959)
- RIGHINI G., *Contributo alla interpretazione dell'opera astronomica di Galileo*. Suppl. a «Annali dell'Istituto e Museo di storia della scienza», 1978, fasc. 2, Istituto e Museo di storia della scienza, 1978
- RUGGIERI G., *La Luna*, Milano, Arnoldo Mondadori Editore, 1968
- TEXEREAU J. (1922), *How to Make a Telescope*, New York, Futerscienc Publisher, Inc., 1981

## Sitografia

- Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze
  - <http://www.imss.fi.it/indice.html>
- Costruirsi un cannocchiale galileiano
  - <http://brunelleschi.imss.fi.it/esplora/cannocchiale/indice.html>
- Galilean Telescope
  - <http://www.pacifier.com/~tpepe/index.htm>
    - Links and References Regarding Galilean Telescopes
      - [http://www.pacifier.com/~tpepe/Additional\\_Info.htm](http://www.pacifier.com/~tpepe/Additional_Info.htm)
    - Building a Galilean Telescope
      - [http://www.pacifier.com/~tpepe/Building\\_A\\_Galilean\\_Telescope.htm](http://www.pacifier.com/~tpepe/Building_A_Galilean_Telescope.htm)
    - Optics of the Singlet Refractor: Galileo vs. Kepler
      - [http://www.pacifier.com/~tpepe/Galilean\\_Optics\\_Page.htm#Galilean\\_Telescope](http://www.pacifier.com/~tpepe/Galilean_Optics_Page.htm#Galilean_Telescope)
- Meteor Crater
  - <http://www.meteorcrater.com/index.php>

- Il mistero del Meteor Crater
  - <http://www.merlino.org/ufom-009.htm>
- Meteor Craters
  - [http://www.geologyrocks.co.uk/tutorials/meteor\\_craters](http://www.geologyrocks.co.uk/tutorials/meteor_craters)
- I crateri da impatto nel mondo
  - [http://www.geocities.com/elidoro/impatto/im\\_lista\\_crateri.html](http://www.geocities.com/elidoro/impatto/im_lista_crateri.html)
- The Record of Impact Structures on Earth
  - <http://www.stecf.org/~ralbrech/amico/intabs/koeberlc.htm>