

il **BOLLETTINO**
del GRUPPO ASTROFILI CINISELLO BALSAMO
numero 63 - Giugno 2018



IL DISCO DI LIBARNA

IN QUESTO NUMERO

EDITORIALE - SCIENZA E ARTE - <i>CRISTIANO FUMAGALLI</i>	3
IL DISCO DI LIBARNA - UN CALENDARIO LUNISOLARE CELTO-LIGURE? <i>ADRIANO GASPANI</i>	6
PICCOLE PERLE DI SAGGEZZA FISICO-ASTRONOMICA <i>GIOVANNI BORTOLOTTI</i>	19
COSMOLOGIA PER ASTROFILI - PARTE I: LA COSMOLOGIA CLASSICA <i>STEFANO SPAGOCCI</i>	22
PICCOLA ENCICLOPEDIA ASTRONOMICA - <i>FRANCO VRUNA</i>	29
ASTRO NEWS - <i>CRISTIANO FUMAGALLI</i>	32

EDITORIALE

SCIENZA E ARTE

Cristiano Fumagalli

Parlare di scienza e arte può sembrare strano, anzi, per i cosiddetti cultori delle scienze umanistiche, anche fuori luogo; cosa c'entra una materia "asettica" e "arida" come la scienza (e la tecnologia) con la purezza delle arti? Al contrario, invece, tutte le scienze e l'astronomia in particolare sono state fonti d'ispirazione per poeti, pittori e artisti in genere. Partiamo proprio dal padre della lingua italiana, Dante, che fu anche un astrofilo ante litteram e nella sua opera principale "La Divina Commedia" riporta più volte riferimenti astronomici piuttosto precisi. Ricordando che Inferno, Purgatorio e Paradiso hanno la parola "stelle" come ultima, accenno ad alcuni di questi casi:

- Inferno, fine del canto XI; Virgilio, dopo aver spiegato la suddivisione dei peccatori, dice:

*Ma seguimi oramai che 'l gir mi piace;
chè i Pesci guizzan su per l'orizzonta,
e 'l Carro tutto sovra 'l Coro giace.*

L'accenno alle costellazioni è evidente.

- Nel canto XXVI (quello di Ulisse), leggiamo:

*Tutte le stelle già de l'altro polo
vedea la notte, e 'l nostro tanto basso,
che non surgea fuor del marin suolo.*

Dante qui accenna al fatto di trovarsi a sud di Firenze, nei luoghi di Ulisse, dove si osservano anche le altre costellazioni non circumpolari.

- Il Purgatorio è pieno di riferimenti astronomici che spiegano la sua posizione agli antipodi di Gerusalemme.

- Mirabile è anche la descrizione della Via Lattea (Galassia) nel canto XIV del Paradiso:

*Come distinta da minori e maggi
lumi biancheggia tra' poli del mondo*

Galassia sì, che fa dubbiar ben saggi.

Si potrebbero scrivere pagine sui riferimenti astronomici danteschi, ma è chiaro come questa scienza sia stata per lui un grande valore.

Facendo un salto di qualche secolo, come non ricordare un altro grande poeta e “astrofilo” il cui nome è Giacomo Leopardi? Il suo amore per le scienze astronomiche è ben sintetizzata da questa sua frase:

“La più amabile, la più nobile tra le Fisiche scienze ella è senza dubbio l’Astronomia. L’uomo s’innalza per mezzo di essa come al di sopra di se medesimo, e giunge a conoscere la causa dei fenomeni più straordinari.”

Numerosi sono stati gli scrittori e i poeti anglosassoni che hanno scritto versi dedicati all’astronomia, io qui cito il più famoso, Edgar Allan Poe, anche lui in qualche modo astrofilo, che nel suo poema “Il corvo” arriva addirittura risolvere il famoso “Paradosso di Olbers” (perché la notte è buia?):

“Se c’è una successione di stelle senza fine, allora il fondo cielo deve presentare una luminosità uniforme (come mostrato dalle galassie), poiché non c’è assolutamente nessun punto - nel fondo cielo – in cui non esista una stella. Il solo modo di comprendere, in questo stato di cose, perché i nostri telescopi incontrino “vuoti” in tutte le direzioni è che il fondo cielo invisibile è a una distanza così grande da far sì che nessun raggio emesso da questo ci ha ancora raggiunti”

In sintesi, Poe afferma che la luce delle stelle lontane non illumina la notte perché non ha avuto il tempo per raggiungerci. In altre parole, non è possibile vedere oltre l’età dell’Universo. La notte così certifica la nascita dell’Universo stesso! Anche la pittura ha avuto i suoi esempi, come la cometa disegnata da Giotto nella sua celeberrima natività (Cappella degli Scrovegni, Padova) e potrei citare ancora altri esempi.

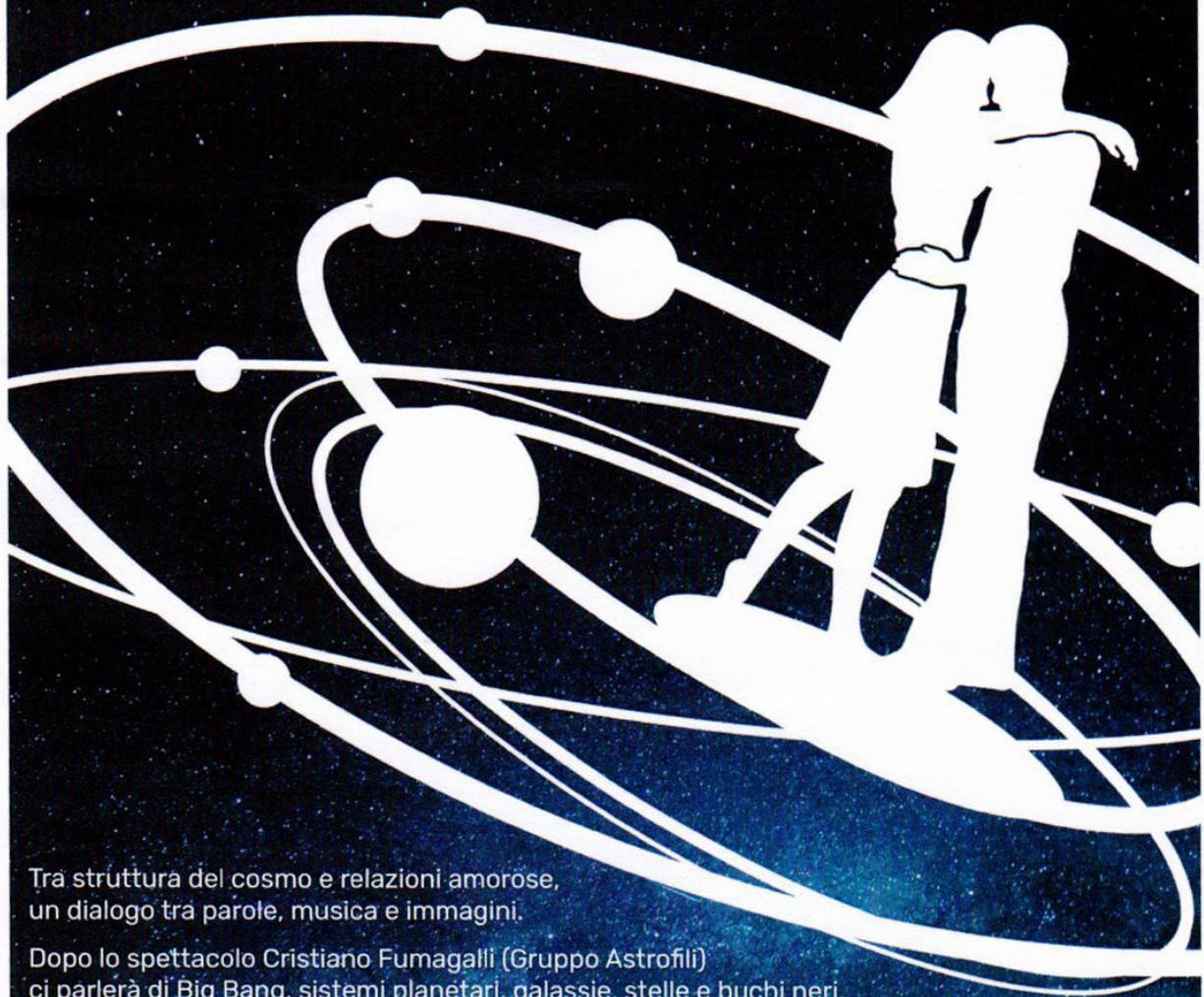
Noi stessi, infine, abbiamo avuto recentemente modo di sperimentare questo particolare connubio grazie al teatro. Lo spettacolo che mette al centro l’analogia dei sentimenti umani e la vita delle stelle si può tranquillamente descrivere “astronomico” e, al termine, il mio intervento divulgativo per spiegare cosa realmente fossero gli oggetti descritti si è perfettamente inserito. Scienza e arte, quindi, possono tranquillamente “andare a braccetto”, anzi, sono una complementare all’altra. Se andate al Museo della Scienza e della Tecnica di Milano, noterete che, entrando, capeggia la scritta “Scienza è cultura” e mai cosa è più vera. Visitandolo è come osservare un libro aperto, la spiegazione passo, passo delle nostre conquiste. E’ la storia del pensiero umano.

MERCOLEDÌ 9 MAGGIO 2018
ORE 21.00 • IL PERTINI > AUDITORIUM

Galassia

L'analogia fra i sentimenti umani e la vita delle stelle

SPETTACOLO TEATRALE



Tra struttura del cosmo e relazioni amorose,
un dialogo tra parole, musica e immagini.

Dopo lo spettacolo Cristiano Fumagalli (Gruppo Astrofilì)
ci parlerà di Big Bang, sistemi planetari, galassie, stelle e buchi neri.

Testo e regia
Giorgio Carella

Musica e chitarra
Alberto Turra
Voce Roberta La Nave

Suoni
Paolo Benvenuti



ILPERTINI
La piazza dei saperi

A cura di:



IL DISCO DI LIBARNA: UN CALENDARIO LUNISOLARE CELTO-LIGURE?

Adriano Gaspani

I.N.A.F. - Osservatorio Astronomico di Brera - Milano
adriano.gaspani@brera.inaf.it

INTRODUZIONE

La capacità di percepire i ritmi della natura e di vivere in armonia con essa fu un'essenziale esigenza per le popolazioni preistoriche e protostoriche. Fu così anche per i Liguri, come per altre popolazioni europee dell'età del Ferro, essendo la loro una società la cui economia era prevalentemente rurale. Il Sole e la Luna, con i loro movimenti ciclici, furono fondamentali dal punto di vista del computo del tempo e dello sviluppo del calendario. La Luna permetteva di dividere il tempo in settimane, quindicine e mesi mentre al Sole spettava il compito di scandire l'anno. Le popolazioni celtiche più che al Sole facevano riferimento a corpi celesti quali la Luna e varie stelle. L'importanza della Luna per le genti di stirpe ligure è stata documentata in maniera oggettiva. In questo lavoro presenteremo un'interpretazione archeoastronomica del cosiddetto "disco di Libarna" che crediamo sia ulteriore testimonianza dell'importanza data a questo corpo celeste dalle genti celto-liguri.

IL DISCO DI LIBARNA

Il reperto che va sotto il nome di "disco di Libarna" è una sottile lamina discoidale di piombo, di provenienza incerta, del diametro di alcuni centimetri, forato al centro e ricoperto di incisioni su entrambe le facce. I segni tracciati sulle facce hanno recentemente permesso di avanzare alcune ipotesi in relazione alla sua interpretazione ed al suo uso pratico. Il reperto era conservato a Genova nel deposito del Museo di Archeologia Ligure ed era stato classificato come "peso" e mai degnato di considerazione. Il disco è stato recentemente esposto in una mostra tenutasi presso lo stesso museo. Se osserviamo le figure tracciate sulle due facce del disco, osserviamo che sulla prima, la più raffinata o cosiddetta "nobile", sono situate 13 figure semilunate, racchiuse in 13 settori di cui una, però, è tagliata da una linea che la divide a metà. Sul lato opposto sono tracciati due segmenti ortogonali che si intersecano sulla superficie del disco, ripartendola in quattro parti, ma che si incontrano in vicinanza del centro geometrico che è forato, quindi sono decentrati rispetto ad esso. In ciascuno dei quattro settori circolari sono ripetute delle lunette "simboliche" in numero di 12, tre per ciascuno dei quattro settori.

UN POSSIBILE USO PRATICO

Nell'occasione della sopra citata mostra, Guido Cossard e Walter Riva hanno avanzato l'ipotesi che il disco potrebbe aver avuto una funzione calendariale. Per comprendere come avrebbe potuto essere utilizzato il disco di Libarna dal punto di vista calendariale e capire come era strutturato il calendario delle popolazioni protostoriche liguri, bisogna ricordare quella che con molta probabilità fu l'evoluzione che portò svariate popolazioni protostoriche (in primis le popolazioni celtiche) a sviluppare un calendario di tipo lunisolare, destinato a codificare un algoritmo pratico e capace di accordare il computo solare annuale con il computo lunare mensile, raggiungendo un rilevante accordo.



Le due facce del disco di piombo di Libarna.

La prima realizzazione di un calendario che definiremo “arcaico” probabilmente utilizzò solo la Luna come generatore di periodicità di riferimento ed era quindi esclusivamente lunare, con un anno costituito da 12 lunazioni complete, per un totale di 354 giorni solari medi, ripartiti in 12 mesi. Tutto questo non era altro che la codifica delle più evidenti periodicità della Luna che suggerì agli uomini, fino dal Neolitico, la ripartizione del tempo in giorni, settimane, quindicine e mesi. I mesi iniziavano ritualmente con la Luna ad una ben determinata fase di riferimento che nel caso del calendario ligure non ci è nota. Anche la lunghezza esatta dei mesi utilizzata dalle popolazioni liguri non ci è nota ma fu probabilmente fissata alternativamente a 29 e a 30 giorni, in modo da compensare approssimativamente sia la lunghezza media del mese sinodico lunare (29.53 giorni) sia le sue variazioni annuali.

Il disco di Libarna riporta una divisione dell'anno in 13 settori mensili, senza alcuna indicazione dei giorni, quindi il reperto sembra essere stato un dispositivo portatile, utilizzato soprattutto dalla gente comune che aveva il problema pratico di accordare il computo lunare,

evidente dalla semplice osservazione della Luna nel cielo, con il computo solare, fondamentale per ripartire l'andamento stagionale e finalizzato soprattutto nella pratica dell'agricoltura e dell'allevamento. Un calendario portatile quale quello di Libarna permetteva un ragionevole accordo tra il computo solare e il computo lunare ed era probabilmente connesso con le pratiche religiose e l'amministrazione del culto, oltre che all'agricoltura ed all'allevamento.

PROGETTARE UN CALENDARIO

Il problema della progettazione di un calendario è piuttosto complesso e può essere risolto a vari livelli di accuratezza, utilizzando numerosi metodi possibili. Il procedimento teoricamente più accurato è quello di applicare un certo numero di leggi che fanno parte dell'astronomia matematica che però è necessario conoscere. Ovviamente il grado di accuratezza con cui queste leggi furono conosciute e rappresentate sotto forma di regole empiriche destinate al calcolo pratico è strettamente dipendente dall'epoca storica durante la quale un determinato sistema calendariale venne progettato e dunque dall'ambiente culturale di quel periodo.

La natura fornì all'uomo antico tre unità di misura naturali del tempo: 1) il giorno solare, 2) il mese lunare, 3) l'anno solare tropico. Sfortunatamente queste tre unità di misura hanno il difetto di non essere commensurabili in maniera semplice. Lo sviluppo di un calendario affidabile è equivalente alla determinazione di tre numeri interi A, B, C, capaci di soddisfare con ragionevole accuratezza la seguente eguaglianza:

$$\mathbf{A \ ANNI = B \ MESI = C \ GIORNI}$$

La terna A, B, C per essere accettabile deve soddisfare la precedente equazione in maniera sufficientemente accurata per un intervallo di tempo ragionevolmente lungo: più è lungo questo intervallo di tempo e migliore è il calendario sviluppato sulla base di quelle misure. Una cattiva qualità dei tre parametri condurrà molto presto ad uno sfasamento inaccettabile tra il tempo vero e quello previsto dal calendario. La precedente equazione possiede un evidente carattere ciclico e può essere interpretata in termini di numeri di complete rivoluzioni della Terra intorno al Sole e della Luna intorno alla Terra o, adottando la visione geocentrica del mondo tipica degli antichi, in termini di numeri di rivoluzioni apparenti complete del Sole e della Luna sulla sfera celeste. Tale relazione può essere facilmente trasformata nella:

$$\mathbf{1 \ ANNO = X \ MESI = Y \ GIORNI}$$

Le due precedenti equazioni sono equivalenti dal punto di vista aritmetico ma rappresentano due punti di vista molto differenti per quanto concerne l'aspetto storico. La relazione "A anni = B mesi = C giorni" può essere facilmente messa a punto contando gli anni, i mesi e i giorni trascorsi da una determinata data iniziale. Questo può essere fatto senza una grande esigenza di precisione, anzi basta semplicemente che la data di inizio del conteggio sia molto lontana; più lontana è, migliore risulta il funzionamento del metodo. La formulazione "1 anno = x mesi = y

giorni”, invece, per essere applicata richiede una lunga serie di osservazioni astronomiche molto accurate poiché, per essere impiegabili praticamente, x ed y (espressi come rapporto di numeri interi molto grandi, non essendo i numeri reali noti nell’antichità) devono essere conosciuti con un elevato numero di cifre decimali.

Un’accurata determinazione di x ed y poteva essere ottenuta in due modi. Il primo richiede il conteggio di una quantità di giorni, di mesi e di anni trascorsi partendo da una determinata data iniziale. Questo modo di procedere per essere applicabile con un sufficiente grado di precisione richiede di tenere aggiornato il computo dei giorni, dei mesi e degli anni per periodi di tempo piuttosto lunghi, anche dell’ordine delle centinaia di anni. Tale metodo risulta semplice solo a prima vista, in quanto il mantenimento del computo senza errori, per generazioni e generazioni, è praticamente impossibile da realizzare praticamente.

La via alternativa fu l’osservazione eseguita utilizzando alcuni allineamenti composti da pietre o pali in legno, disposti sul terreno lungo direzioni astronomicamente significative e tesi ad ottenere i valori della lunghezza dei cicli solare e lunare mediante osservazione del transito dei punti di levata e di tramonto del Sole e della Luna lungo le direzioni materializzate da tali allineamenti, con un margine d’errore relativamente piccolo che poteva ulteriormente essere ridotto facendo uso di alcuni particolari orografici posti in lontananza lungo il profilo dell’orizzonte, utilizzati come punto di collimazione. Questa metodologia permise di ottenere dei valori accurati di x ed in tempi molto più brevi, dell’ordine delle decine d’anni.

Per esempio, dovendo stabilire la lunghezza dell’anno tropico fu necessario determinare accuratamente l’istante dei solstizi. Questo poté essere fatto utilizzando particolari monumenti megalitici che, se correttamente orientati e impiegati, permettevano di ottenere precisioni abbastanza elevate, soprattutto se per gli allineamenti si utilizzavano anche dei traguardi naturali rappresentati da particolari del paesaggio sull’orizzonte. Il grado di precisione raggiungibile aumentava con l’aumentare della distanza tra il sito in cui erano posti i punti di stazione e il particolare dell’orizzonte scelto come traguardo. Ovviamente esiste un limite fisico alle distanze dei particolari orografici utilizzabili a questo scopo che è rappresentato dalla curvatura della Terra.

Buoni valori di A , B , C furono stimati probabilmente già durante il Neolitico ma, mancando documenti scritti, è difficile avere un’idea precisa di quanto i sistemi di misura del tempo di quell’epoca potessero essere accurati, anche se lo studio degli allineamenti astronomicamente significativi codificati nei monumenti megalitici ci aiuta molto. Bisogna tenere ben presente che nell’antichità non era disponibile alcun formalismo matematico che permettesse di eseguire i calcoli aritmetici in maniera meccanica, di conseguenza la soluzione dei più elementari problemi di calendario richiese uno sforzo intellettuale notevole. Esiste anche un’ulteriore complicazione che riguarda il fatto che i calendari richiedono l’uso di numeri interi di giorni, settimane e mesi, quindi per essere sviluppati essi richiedono la determinazione del numeratore e del denominatore delle frazioni che esprimono i rapporti tra i vari cicli astronomici utili ai fini calendariali. In altre parole, i parametri x ed y devono essere espressi come rapporti di numeri interi.

PROGETTAZIONE DI UN CALENDARIO LUNISOLARE

Vediamo ora di affrontare il problema dell'ottimizzazione di un calendario lunisolare dal punto di vista matematico. Prima di tutto, siccome il disco di Libarna risale presumibilmente al I secolo a.C., dobbiamo calcolare la lunghezza dell'anno tropico solare A (in giorni solari medi) in quel particolare periodo storico, utilizzando la seguente approssimazione:

$$A = 365.24219878 - 0.00000616 \cdot T$$

dove T è il numero di secoli giuliani, di 36525 giorni solari medi, trascorsi dal 1 Gennaio 1900. Questo anno tropico contiene 12 lunazioni complete più un eccesso di 10.88 giorni solari medi:

$$A = 12 \cdot PS + 10.88$$

dove Ps è il periodo sinodico lunare (1 lunazione) pari, in media, a 29.5306 giorni solari medi. La lunghezza dell'anno solare tropico nel I sec. a.C. era pari a 365.2424 giorni solari medi, quindi tale valore sarà utilizzato nel calcolo. L'equazione fondamentale che descrive i calendari lunisolari è la seguente (Gaspani, 2010):

$$354 \cdot X + 30 \cdot Y = 365.2424$$

dove 354 è il numero intero di giorni che compongono l'anno lunare formato da 12 lunazioni, 365.2424 è la lunghezza dell'anno tropico solare durante tutto il I millennio a.C., Y è il numero di mesi intercalari di 30 giorni da inserire ogni X anni sinodici lunari di 12 lunazioni per ottenere il miglior accordo con il computo solare.

Risolvendo l'equazione si perviene al rapporto:

$$Y/X = 0.374646 \dots$$

Tale rapporto è un numero reale ma lo sviluppo di un calendario richiede di esprimerlo per mezzo di un rapporto tra numeri interi positivi. L'autore ha trovato che un tale problema si può affrontare mediante la tecnica delle frazioni continue, sulla quale non insistiamo in questa sede, rimandando alla bibliografia (Gaspani, 2010) per eventuali approfondimenti.

La prima approssimazione che si ottiene mediante il metodo delle frazioni continue è molto semplice:

$$Y/X = 1/2$$

Questo risultato ci indica che una prima possibile politica di intercalazione, peraltro molto grossolana, è quella di inserire 1 mese intercalare di 30 giorni ogni 2 anni sinodici lunari. Tale approssimazione è di scarsa accuratezza e produce una lunghezza media dell'anno di calendario pari a 374 giorni solari medi, con un errore di 8 giorni in più rispetto al valore dell'anno tropico

solare dopo 2 anni. Questa politica di intercalazione fu adottata nei calendari arcaici greco e romano, relativamente grossolani.

Prendiamo ora in esame la seconda approssimazione:

$$Y/X = 1/3$$

Questo risultato ci indica che un'altra possibile politica di intercalazione è quella di inserire 1 mese intercalare di 30 giorni ogni 3 anni sinodici lunari. Tale approssimazione è di accuratezza maggiore rispetto alla precedente e produce una lunghezza media dell'anno di calendario pari a 364 giorni solari medi, con un errore di 3.7 giorni in meno rispetto al valore effettivo dell'anno tropico solare dopo 3 anni. Storicamente questa politica di intercalazione fu adottata nei calendari greci e romani successivi a quelli arcaici e, nel caso romano, nel calendario precedente alla riforma giuliana.

Prendiamo quindi in esame la terza approssimazione:

$$Y/X = 3/8$$

Questo risultato ci indica che un'altra possibile politica di intercalazione, relativamente accurata, è quella di inserire 3 mesi intercalari di 30 giorni ogni 8 anni sinodici lunari. Tale approssimazione è di accuratezza maggiore rispetto alla precedente e produce una lunghezza media dell'anno di calendario pari a 365.25 giorni solari medi, con un errore di 0.06 giorni in meno rispetto al valore dell'anno tropico solare dopo 8 anni. Questa è l'Octaeride, tipica del calendario greco.

Combinando la prima e la seconda approssimazione, si ottiene:

$$Y/X = 2/5$$

che, come vedremo, corrisponde alla politica di intercalazione tipica del calendario gallico, codificato nella tavola bronzea del calendario di Coligny (Gaspani, 2010). Tale politica, ovviamente, consisteva nell'inserire 2 mesi intercalari di 30 giorni ciascuno ogni 5 anni sinodici lunari.

Storicamente è interessante ricordare un'altra combinazione, quella che fornisce la soluzione:

$$Y/X = 7/19$$

la quale corrisponde alla politica di intercalazione tipica dei calendari greco, ebraico e cinese e consiste nell'inserire 7 mesi intercalari di 30 giorni ogni 19 anni sinodici lunari. Approssimazioni di ordine superiore sarebbero, in linea teorica, 184/491 e 11227/29959. Tali approssimazioni sono molto accurate ma proprio per questo richiedono sequenze molto lunghe e nessuna popolazione antica nota le ha mai applicate.

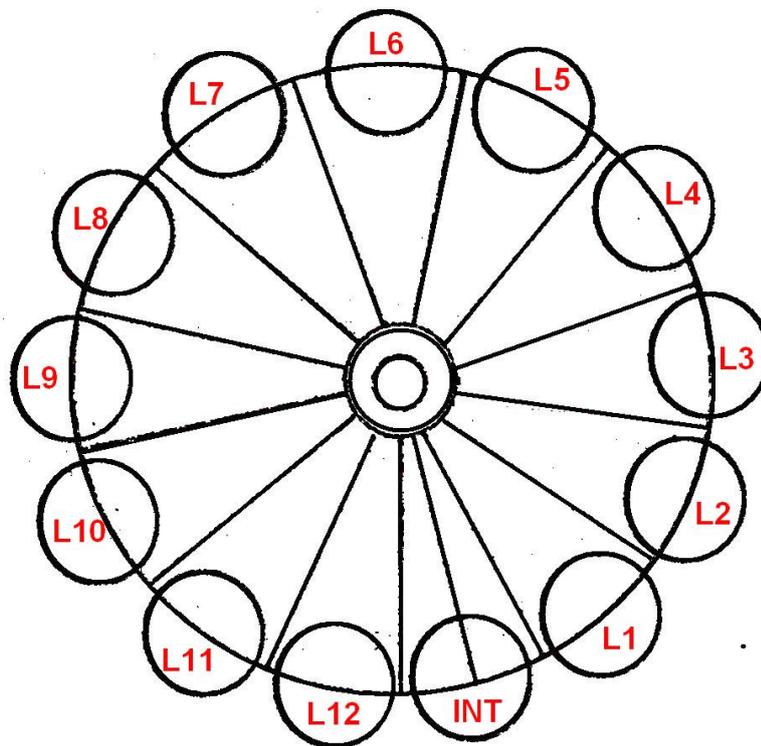
Prendiamo ora nuovamente in esame il rapporto $Y/X = 0.374646\dots$ che rappresenta la soluzione ottimale dell'equazione dei calendari lunisolari; orbene, se prendiamo il suo reciproco: $X/Y = 2.668469371\dots$, esso può essere scomposto in una serie di termini successivi:

$$X/Y = 2 + \frac{1}{2} + 1/10 + 17/250 + \dots$$

Questo ci indica che fermandoci al primo termine $X/Y = 2$ troviamo di nuovo l'inserzione di 1 mese intercalare da 30 giorni ogni 2 anni sinodici lunari. Se consideriamo i primi due termini avremo:

$$X/Y = 2 + \frac{1}{2} + \dots = 2.5 + \dots$$

che prevede l'inserzione di 1 mese intercalare di 30 giorni ogni 2.5 anni sinodici lunari, cioè 30 giorni ogni 30 mesi di calendario: essa è la soluzione adottata dai druidi gallici e codificata nel calendario di Coligny.



Modello matematico della faccia nobile del disco di Libarna. Sono indicati i 12 settori corrispondenti alle 12 lunazioni comprese nell'anno sinodico lunare (sigle da L1 a L12), partendo da quello immediatamente successivo, verso sinistra, al settore tagliato dalla barra verticale e ruotando in senso antiorario. Il tredicesimo settore è indicato con INT e corrisponde al mese intercalare.

PROGETTAZIONE DEL CALENDARIO DI LIBARNA

Torniamo ora alla struttura del disco di Libarna la quale, sulla faccia nobile, mostra una divisione in 13 settori, 12 normali più un tredicesimo segnato da una barra che lo taglia verticalmente nel mezzo, in modo da indicare che tale settore è differente dai rimanenti 12. In questa sede indicherò i 12 settori con le sigle da L1 a L12, partendo da quello immediatamente successivo al settore tagliato dalla barra verticale e ruotando in senso antiorario. Il tredicesimo

settore verrà indicato con INT.

Esaminiamo ora le varie soluzioni previste dallo sviluppo in frazioni parziali del rapporto Y/X . Come abbiamo visto, la prima soluzione è $Y/X = 1/2$ e prevede l'inserzione di un mese intercalare ogni 2 anni lunari sinodici. La realizzazione di questo meccanismo utilizzando il disco di Libarna consiste nel partire dal settore L1, contando un settore per ogni lunazione trascorsa, fino a completare l'anno lunare giungendo ad esaurire il settore L12. Ora, saltando il settore indicato con INT, si ripete il conteggio delle lunazioni per il secondo anno. Il disavanzo accumulato tra il computo lunare e il computo solare dopo 2 anni lunari è pari a poco meno di 22 giorni che devono essere recuperati eseguendo, prima del nuovo anno, il conteggio di un mese supplementare di 30 giorni. Questa soluzione produce un disavanzo di poco più di 8 giorni, troppo evidenti per essere accettati anche in una cultura protostorica.

La soluzione successiva è $Y/X = 1/3$ e prevede l'inserzione di 1 mese intercalare di 30 giorni ogni 3 anni lunari sinodici. Il meccanismo è analogo a quello precedentemente descritto, tranne che il conteggio si estende per tre cicli di 12 lunazioni, accumulando quasi 33 giorni differenza tra il computo lunare e quello solare. A questo punto l'inclusione del settore INT nel computo permette di recuperare 30 giorni di disavanzo, riducendo l'errore complessivo a soli 3 giorni circa.

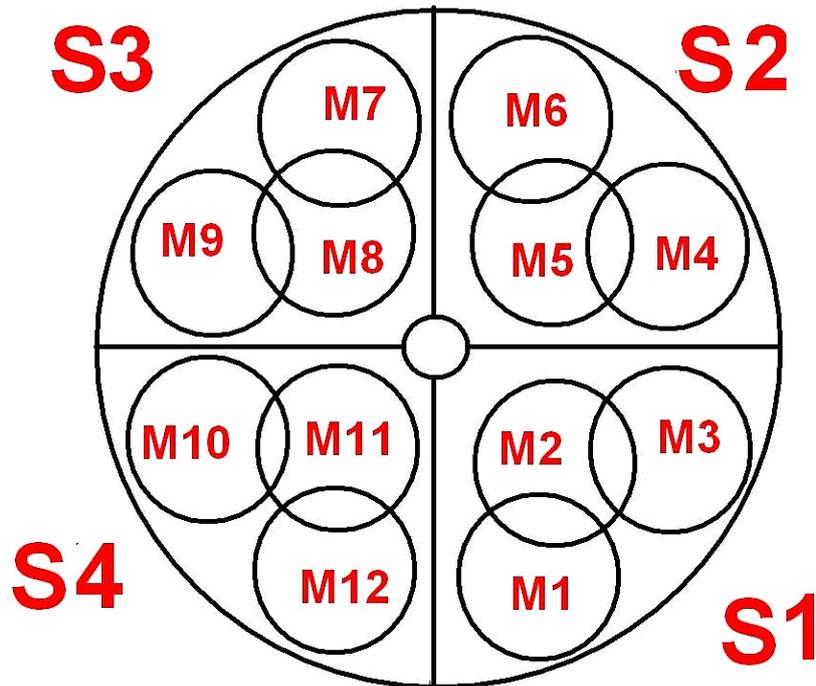
La soluzione ancora successiva è $Y/X = 3/8$ ma essa risulta non applicabile perché richiederebbe sul disco la presenza di 3 settori intercalari INT, cosa che non avviene in quanto sul disco di Libarna è presente un solo settore di quel tipo. Per poter applicare l'approssimazione prevista, sul disco avrebbero dovuto essere presenti 15 settori e non 13 come avviene in realtà. Non prenderemo in esame, per ovvie ragioni connesse alla struttura del reperto, le approssimazioni di ordine superiore.

CONNESSIONE CON IL CALENDARIO GALLICO?

Nell'occasione dell'esposizione del disco a Genova, è stato proposto che il sistema calendariale codificato dal disco di Libarna possa essere messo in relazione con il computo lunisolare del calendario gallico, di cui un esempio è la tavola di bronzo di Coligny. Come abbiamo visto, combinando opportunamente le prime due approssimazioni a frazioni continue, si ottiene l'approssimazione:

$$Y/X = 2/5$$

che corrisponde all'inserzione di 2 mesi intercalari di 30 giorni ciascuno nell'arco di 5 anni lunari sinodici. La politica ottimale di intercalazione in tal caso corrisponde all'inserzione di 1 mese intercalare ogni 2 anni e mezzo, quindi 30 giorni ogni 30 mesi sinodici lunari. Questa soluzione è incompatibile con la struttura del disco lunare di Libarna, perché richiederebbe sul disco la presenza di 2 settori intercalari INT. In questo caso i settori presenti sul disco avrebbero dovuto essere 14 e non 13. Una diretta connessione col calendario gallico di Coligny appare quindi dubbia.



Modello matematico della faccia opposta del disco di Libarna. E' possibile riconoscere una divisione di un ciclo principale in 4 segmenti temporali che a loro volta sono ripartiti in 3 sotto-segmenti ciascuno, per un totale complessivo di 12 simboli. Questo schema ricalca in maniera esatta la divisione rituale dell'anno celtico, formato da 12 mesi sinodici lunari (da M1 a M12) e scandito dalla celebrazione di 4 feste rituali, delle quali 2 rivestivano particolare importanza, ripartendo l'anno in 2 stagioni.

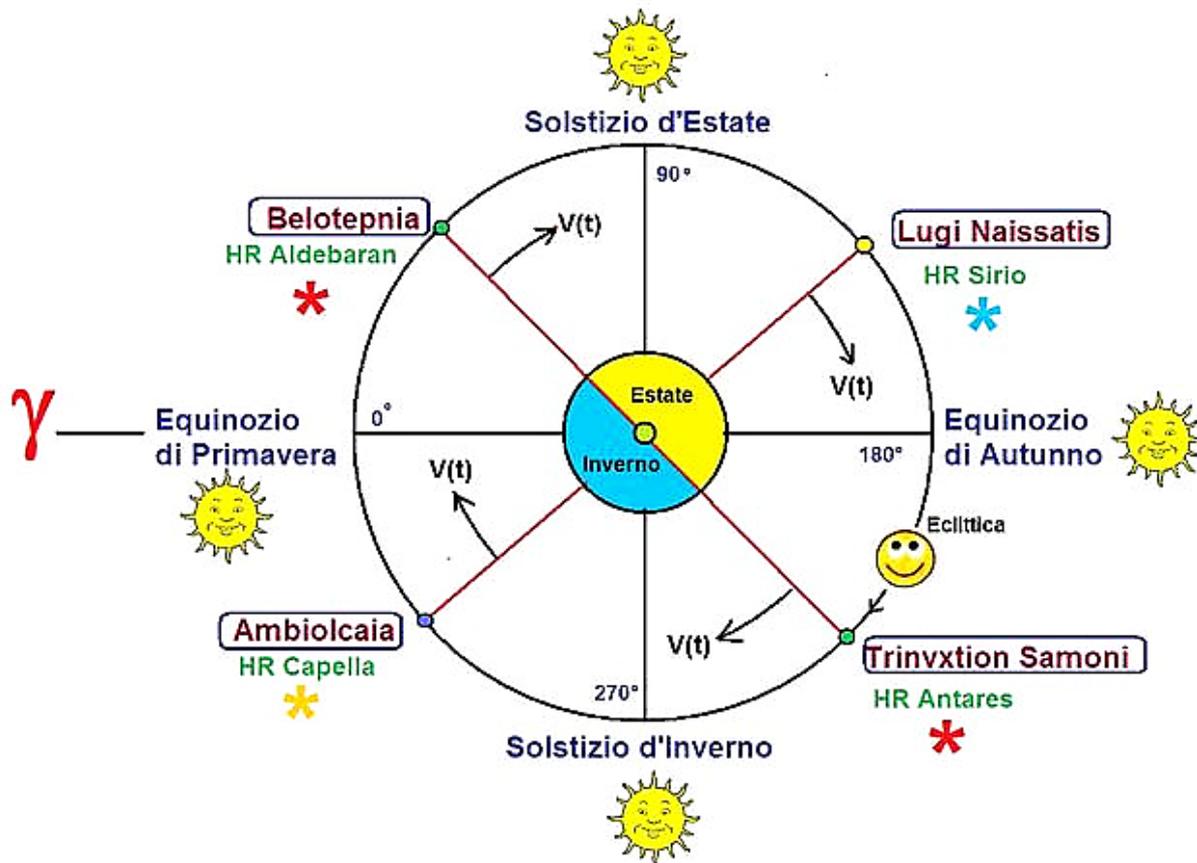
LA SECONDA FACCIA DEL DISCO DI LIBARNA

La faccia posteriore del disco di piombo mostra una ripartizione in 4 quadranti, ottenuta intersecando una coppia di segmenti ortogonali in prossimità del centro geometrico del reperto. All'interno di ciascuno dei 4 quadranti sono posti 3 simboli ad arco abbastanza simili a quelli lunari presenti sulla faccia nobile ma combinati in maniera diversa. Se si ricostruisce il modello matematico di questo particolare schema, è possibile riconoscere una divisione di un ciclo principale in 4 segmenti temporali S1, S2, S3, S4 che a loro volta sono ripartiti in 3 sotto-settori, per un totale complessivo di 12 simboli (da M1 a M12) per l'intero ciclo.

Questo schema ricalca nuovamente il computo lunare puro, formato da 12 mesi ripartiti in 4 segmenti. La divisione dell'anno in 4 segmenti da 3 lunazioni ciascuno può essere ottenuta stabilendo 4 particolari date lungo l'anno, codificate utilizzando i 2 segmenti ortogonali. Questo particolare schema richiama la divisione rituale dell'anno celtico, ottenuta stabilendo 4 ricorrenze (Trinvxtion Samoni, Ambiolcaia, Belotepnia e Lugi Naissatis, comunemente dette Samain, Imbolc, Beltane e Lughnasad), in occasione delle quali si celebravano solenni cerimonie. Le date delle 4 ricorrenze rituali erano stabilite dalla levata eliacale di altrettante stelle. In particolare, due feste opposte (Trinvxtion Samoni e Belotepnia) sancivano l'inizio dell'anno celtico e l'inizio della

stagione invernale, la prima, e l'inizio della stagione estiva, la seconda.

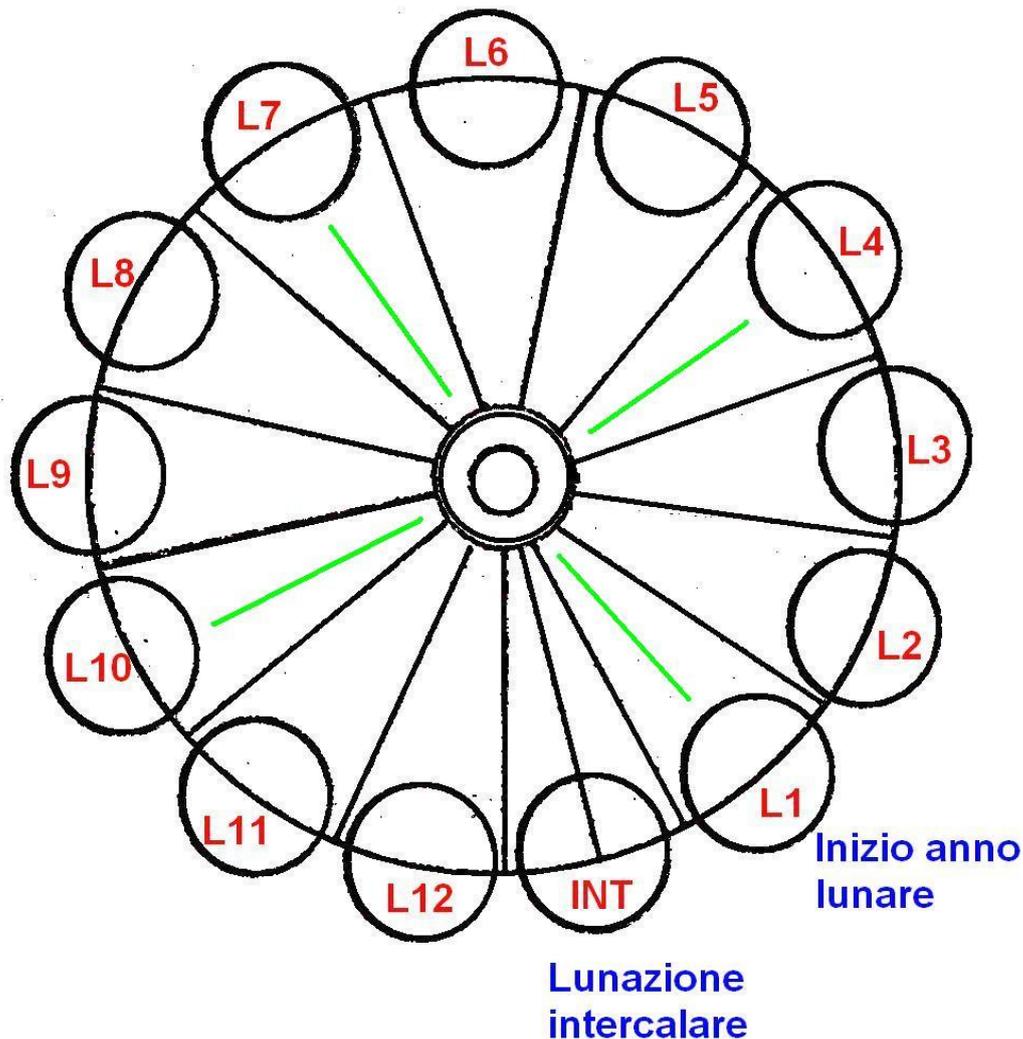
Nel caso dei Liguri, tuttavia, non conosciamo nulla delle feste e delle ricorrenze lungo l'anno ma possiamo ragionare per analogia, poiché Celti e Liguri non erano troppo diversi dal punto di vista etnico, linguistico e culturale. Oltre a tali somiglianze, i Dectunini (la tribù ligure nel cui ambito il manufatto fu realizzato) risiedevano non molto distanti dalle sedi di tribù celtiche minori poste al di sotto del territorio degli Insubri e parte del cosiddetto "impero insubre".



La divisione rituale dell'anno celtico in 4 segmenti formati da 3 lunazioni ciascuna è molto simile allo schema riportato sulla faccia posteriore del disco di Libarna. In questo caso i segmenti ortogonali che dividono l'anno corrispondono alle date di celebrazione delle 4 feste rituali Trinxtion Samoni, Ambiolcaia, Belotepnia e Lugi Naissatis, le quali erano stabilite dalla data di levata eliac di alcune stelle. Per effetto della precessione lunisolare, i due segmenti ortogonali ruotano di 14 giorni ogni 1000 anni.

FASATURA DELLE FACCE DEL DISCO

Per comprendere meglio il funzionamento del disco di Libarna, è necessario mettere in relazione quanto è inciso su entrambe le sue facce; è infatti possibile (e forse molto probabile) che i 4 bracci dell'incisione a croce possano essere stati posti in una posizione correlata con le incisioni presenti sulla faccia nobile. I 4 bracci presenti sulla faccia opposta a quella nobile identificano 4 settori che corrispondono ad altrettante particolari lunazioni entro l'anno sinodico lunare.



— Lunazioni indicate dalla croce incisa sulla faccia opposta del disco: L1, L4, L7, L10

La fasatura del disco di Libarna si ottiene proiettando sulla faccia nobile la croce formata dai 2 segmenti ortogonali tracciati sulla faccia opposta. In questo modo si identificano 4 particolari mesi entro l'anno sinodico lunare. Partendo dal mese intercalare, essi sono: il primo (L1), il quarto (L4), il settimo (L7) ed il decimo (L10). Questo ci suggerisce che la regola che stabilisce la successione delle lunazioni entro il ciclo annuale sia di tipo antiorario ed è possibile che la lunazione intercalare potesse essere contata in anticipo prima dell'inizio del primo anno. E' quindi possibile che in corrispondenza dei mesi L1, L4, L7 ed L10 fosse prevista la celebrazione di una qualche festa religiosa o civile, importante nell'ambito della vita della tribù che produsse il disco.

Proiettando i bracci della croce sulla faccia nobile si identificano 4 particolari mesi entro l'anno sinodico lunare. Partendo dal mese intercalare, essi sono: il primo mese (L1), il quarto mese (L4), il settimo mese (L7) ed il decimo mese (L10). Tutto ciò ci suggerisce che la regola che stabilisce la successione delle lunazioni entro il ciclo annuale sia di tipo antiorario ed è possibile

che la lunazione intercalare potesse essere contata in anticipo prima dell'inizio del primo anno, analogamente a quanto avviene nel caso del calendario gallico, secondo lo schema esemplificato dal calendario di Coligny. E' quindi possibile che in corrispondenza dei mesi L1, L4, L7 ed L10 fosse prevista la celebrazione di una qualche festa religiosa o civile, al momento non meglio specificabile ma importante nell'ambito della vita della tribù dalla quale fu probabilmente realizzato il manufatto (come abbiamo visto, i Liguri Dectunini).

Siccome la prima delle 4 lunazioni è in corrispondenza del settore immediatamente successivo a quello che stabilisce il mese intercalare, è facile ipotizzare che L1 sia la prima lunazione del ciclo calendariale annuale, quindi all'inizio dell'anno. Potrebbe essere ipotizzabile la coincidenza con un particolare fenomeno astronomico, ad esempio il solstizio d'inverno, ma questa ipotesi non può per ora essere dimostrata. Se anche i Liguri che produssero il reperto, analogamente ai Celti, praticavano la divisione bi-stagionale dell'anno, il settore L7 potrebbe corrispondere al cambio di stagione, cioè la transizione tra la stagione estiva e quella invernale o viceversa.

PREVISIONE DELLE ECLISSI CON IL DISCO DI LIBARNA

La divisione del disco di Libarna secondo le lunazioni di un anno lunare sinodico teoricamente potrebbe permettere di usare il manufatto come un efficace predittore di eclissi. In quel che segue vedremo come. Durante un periodo di 346.6 giorni solari medi, il cosiddetto anno delle eclissi, il Sole transita 2 volte consecutive allo stesso nodo dell'orbita lunare. Se in quel momento la Luna si trova anch'essa in corrispondenza di uno dei 2 nodi della sua orbita, avverrà un'eclissi che potrà essere di Sole, se i 2 astri si trovano presso lo stesso nodo, oppure di Luna, se i nodi occupati sono opposti. A causa della variazione dell'inclinazione del piano orbitale della Luna, la possibilità che un'eclissi si verifichi è caratterizzata da un periodo di 173.3 giorni solari medi, ovvero la metà dell'anno delle eclissi.

La Luna per i Liguri doveva rappresentare l'astro fondamentale atto al computo del tempo, quindi la sua osservazione era molto sviluppata. I Liguri che produssero il disco di Libarna sicuramente non conoscevano né le cause né l'esistenza dell'oscillazione di 9' di ampiezza dell'inclinazione del piano orbitale della Luna ma avevano certo osservato che le eclissi di Luna si ripetevano ogni 6 lunazioni, corrispondenti a 13 semi-periodi latitudinali ciascuna, per 7 volte consecutive. L'ottava volta l'eclissi si verificava dopo solamente 5 lunazioni, per poi riprendere il ciclo. Dopo aver osservato un'eclissi di Luna era quindi semplice predire l'eclissi successiva per gli stessi giorni del mese lunare sinodico che cadeva 6 lunazioni dopo. Ricordiamo anche che dal punto di vista della previsione delle eclissi l'utilizzo dei mesi intercalari era completamente superfluo e non era quindi necessario inserirli; anzi, da questo punto di vista l'inserzione rigida dei mesi intercalari spostava ogni volta indietro di una lunazione il giorno dell'eclissi. Questo poteva essere sfruttato per prevedere l'eclissi che ogni 42 lunazioni si verificava dopo solo 5 mesi sinodici, portando il ciclo a 47.

CONCLUSIONI

Il disco di Libarna si è rivelato un dispositivo che realizza il computo lunisolare secondo lo schema del calendario protostorico ligure, su una faccia, e una scansione dell'anno basata probabilmente su 4 feste rituali che ripartivano l'anno in 4 segmenti di 3 mesi lunari ciascuno, sull'altra. Il dispositivo realizza un'approssimazione relativamente mediocre dell'anno tropico solare, richiedendo l'inserzione di un mese intercalare ogni 2 anni lunari oppure 3. Questo sembrerebbe suggerire un possibile uso approssimato del dispositivo ma se ne deduce comunque una certa abilità calendariale delle popolazioni protostoriche liguri. Con grande probabilità il calendario ligure rimase sostanzialmente lunare puro fino alla conquista romana ed alla imposizione forzosa del calendario giuliano alle popolazioni sottomesse militarmente. Il particolare schema materializzato dal disco di Libarna permetterebbe l'efficace previsione delle eclissi di Luna e questo suggerisce che con grande probabilità i Liguri Dectunini fossero buoni osservatori del cielo e dei suoi fenomeni.

Bibliografia

Cernuti S. e Gaspani A., 2006, "Introduzione all'Archeoastronomia: Nuove Tecniche di Analisi dei Dati", Tassinari, Firenze.

Duval P.M., 1962, "Observations sur le Calendrier de Coligny", *Latomus*, LVIII (1962).

Gaspani A. e Cernuti S., 1997, "L'Astronomia dei Celti. Stelle e Misura del Tempo tra i Druidi", Keltia, Aosta.

Gaspani A., 1999, "La Cultura di Golasecca. Cielo, Luna e Stelle dei primi Celti d'Italia", Keltia, Aosta.

Gaspani A., 2010, "Il Calendario di Coligny", Keltia, Aosta.

Le Roux E., 1957, "Le Calendrier Gaulois de Coligny et la Fête irlandaise de Samain", *OGAM*, IX (1957).

Smart W.M., 1980, "Textbook on Spherical Astronomy", Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Zagar F., 1948, "Astronomia Sferica e Teorica", Zanichelli, Bologna.

PICCOLE PERLE DI SAGGEZZA FISICO-ASTRONOMICA

*Giovanni Bertolotti
(per gli amici JVB)*

Voglio sapere come Dio ha creato il mondo, non mi interessa questo o quel fenomeno, lo spettro di questo o quell'elemento, voglio conoscere i suoi pensieri, tutto il resto è dettaglio.

Albert Einstein

Il nulla è nulla e non c'è niente che lo confermi.

JVB

Una volta che la validità di questo modo di pensare sia riconosciuta, i risultati definitivi appaiono quasi semplici, qualsiasi studente universitario può comprenderli senza grande difficoltà. Ma gli anni di brancolante ricerca nel buio di una verità che si sente ma non si è in grado di esprimere, l'intenso desiderio e l'alternanza di fiducia e apprensione, finchè non si apre un varco verso la chiarezza e la consapevolezza, sono noti solo a chi li ha provati di persona.

Albert Einstein

Quella che scambiamo per la storia della natura è soltanto la storia molto incompleta di un istante.

Denis Diderot

In tempi e luoghi quantomai incerti gli atomi lasciarono la strada celeste e, unendosi in fortuiti amplessi, generarono tutto ciò che esiste.

James Clerk Maxwell

Il progresso nella fisica è sempre passato dall'intuizione all'astrazione.

Max Born

Come si può non amare la natura in tutte le sue espressioni? Se dovessimo odiarla, saremmo noi umani i primi da odiare!

JVB

L'universo è costruito su una pianta, la cui profonda simmetria è in qualche modo presente nella struttura del nostro intelletto.

Paul Valéry

Nella fisica, con gli esperimenti degli ultimi decenni si sono fatti passi da gigante verso la comprensione dell'universo. Ma, ahimè, più si conosce più ci si allontana dalla verità. Perché? Non si riesce a comprendere la sua vera natura per la nostra arroganza nel pretendere di poter sapere tutto!

JVB

Chi ha visto le cose del presente ha visto tutto, sia tutto quello che ha avuto luogo dall'inizio all'eternità, sia tutto quello che avrà luogo per un tempo senza fine, perchè tutte le cose sono di un solo genere e di una sola forma.

Marco Aurelio

Dov'eri tu quando io fondavo la Terra? Dillo, se possiedi l'intelligenza!

Yahweh a Giacobbe

Un triste spettacolo! Se sono abitati, che campo d'azione per l'angoscia e la follia! Se non sono abitati, che spreco di spazio!

Thomas Carlyle

Quello che davvero mi interessa è se Dio, quando creò il mondo, aveva scelta.

Albert Einstein

Come ricompensa vi chiedo solo questo favore: ogni volta che vedrete il Sole, il cielo o le stelle, pensate a me.

Bernard de Fontenelle

Il frangersi di un'onda non può spiegare tutto il mare.

Vladimir Nabokov

La vita, come cupola di vetro multicolore, tinge il candido fulgore dell'eternità.

Percy Bysshe Shelley

Ogni stato presente di una sostanza semplice è una conseguenza naturale del suo stato precedente , nello stesso modo in cui il suo stato presente è gravido del suo futuro.

Gottfried Wilhelm Leibniz

COSMOLOGIA PER ASTROFILI

PARTE I: LA COSMOLOGIA CLASSICA

Stefano Spagocci

Con questo numero iniziamo la pubblicazione di un Corso di Cosmologia per Astrofili in tre parti. Scopo del corso è quello di fornire al lettore una conoscenza di base della cosmologia. La prima parte del corso riguarda la cosmologia classica (1915-1980). La seconda parte del corso trae origine da una fortunata conferenza dell'autore: "Cosmologia con le Quattro Operazioni". Nell'articolo mostreremo come molte delle previsioni della cosmologia classica possano essere calcolate (approssimativamente) con poco più delle quattro operazioni! Nella terza parte del corso tratteremo della cosmologia moderna (1980-2018). Buona lettura!

INTRODUZIONE

Come attestano l'archeoastronomia e la storia dell'astronomia, fin dalla preistoria l'uomo si è posto in rapporto col cosmo e si è posto domande sulle sue leggi e la sua origine. Le risposte erano però religiose e filosofiche, almeno fino ai primi decenni del secolo scorso. A partire del Rinascimento, però, gli studi di meccanica e cosmografia posero le basi della cosmologia moderna. In questo lavoro ci occuperemo dei sessant'anni circa che intercorrono tra la relatività di Einstein e l'universo inflazionario di Guth e Linde.

I PRECURSORI

Stilare una lista dei precursori della cosmologia scientifica non è un compito facile ma, senza alcuna pretesa di completezza, possiamo citare le seguenti tappe:

- XVI secolo: Copernico (utilizzando gli studi sperimentali di Brahe, poi interpretati da Keplero) propone il modello eliocentrico. Il Sole, e non la Terra, è al centro dell'universo.
- XVII secolo: Newton (anticipato, in maniera meno sistematica, da Galileo) crea la meccanica moderna e la teoria della gravitazione universale. E' così possibile giustificare matematicamente il moto dei pianeti.
- XVIII secolo: Kant (come noto, filosofo e non scienziato) prevede l'esistenza di universi isolati (le attuali galassie). L'inglese Herschel delinea per primo la struttura della Via Lattea.

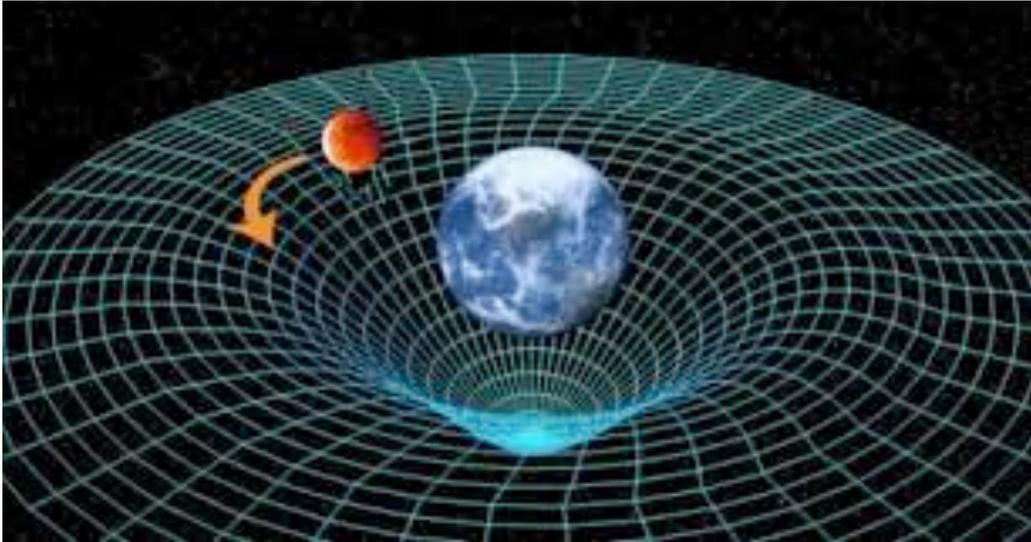


Fig.1 Secondo la relatività generale, lo spazio-tempo è paragonabile a un telo elastico, deformato dalla presenza di una massa. In questo caso, la Luna “cade” nella “buca” formata dalla Terra e, in tal modo, si giustifica il suo moto orbitale.

Pubblicata da Einstein nel 1915, la teoria della relatività generale prevede che lo spazio-tempo sia paragonabile a un telo elastico. Ad esempio, il moto di rivoluzione della Terra si può spiegare col fatto che il Sole formi una depressione nel telo e la Terra orbiti attorno al Sole, in quanto cade nella buca formata dall'astro. Si tratta di un'immagine che aiuta a spiegare il concetto di spazio curvo ma che, nel formalismo della relatività generale, si esplicita nell'apparato matematico del calcolo tensoriale, del quale non ci occupiamo. Il concetto dovrebbe chiarirsi facendo riferimento alla Fig.1.

Einstein, usando la relatività generale, propose il primo modello cosmologico moderno (1917). Tuttavia, i suoi pregiudizi filosofici lo portarono a concepire solo un universo statico. La relatività generale, invece, implicava un universo in espansione. Per giustificare questo pregiudizio, egli introdusse la famosa costante cosmologica, una sorta di antigravità che compenserebbe la gravità e permetterebbe quindi all'universo di rimanere statico. Quando, come vedremo, gli studi di Hubble portarono a stabilire che l'universo era in espansione, Einstein ritirò la sua proposta e notoriamente definì la costante cosmologica come il più grande errore della sua vita. Nell'ultimo quindicennio, però, la costante cosmologica è tornata in auge (in un contesto molto diverso) ma di ciò parleremo nel lavoro dedicato alla cosmologia moderna.

IL MODELLO DI FRIEDMANN/LEMAITRE

Il russo Friedmann (1922) e il sacerdote belga Lemaitre (1927), sulla base della relatività generale, elaborarono un modello di universo in espansione. Il modello di Friedmann/Lemaitre fa uso delle complicate equazioni della relatività generale: tuttavia, le equazioni derivanti sono le stesse che deriverebbero dalla gravitazione newtoniana. Possiamo dunque usare la teoria della gravitazione newtoniana e paragonare l'universo a un sasso lanciato in aria. Se la velocità del

sasso fosse superiore alla velocità di fuga, il sasso sfuggirebbe nello spazio. Se la velocità fosse inferiore a quella di fuga, esso ricadrebbe a terra. Analogamente, se la densità dell'universo è inferiore o pari alla densità critica (circa 10 atomi di idrogeno per metro cubo), allora, se originato da una "esplosione" (il Big Bang), si espanderà all'infinito. Se la densità dell'universo è superiore a quella critica esso, a un certo punto, invertirà l'espansione e comincerà a contrarsi, finendo "schacciato" nel Big Crunch.

Con la densità media variano non solo il destino dell'universo ma anche la sua curvatura. Se la densità è minore della critica, si ha un universo aperto e paragonabile a una sella. Densità pari alla critica: universo aperto e piatto. Densità maggiore della critica: universo chiuso e paragonabile a una sfera. Uno sguardo alla Fig.2 dovrebbe chiarire il concetto. Sottolineiamo che l'universo sarebbe una sfera o sella tridimensionale, non bidimensionale come nella figura, per cui il modello presentato è solo indicativo. Più rigorosamente, in un universo a geometria sferica la somma degli angoli interni di un triangolo sarebbe superiore a 180° e due parallele finirebbero per incontrarsi (si pensi a una superficie sferica con i cerchi massimi a svolgere il ruolo di rette). Un comportamento opposto si avrebbe per una sella.

DISTANZE GALATTICHE

Nel 1912, la statunitense Leavitt scoprì che le stelle variabili cefeidi hanno un periodo di variazione luminosa che è legato da una semplice relazione matematica all'energia che tali stelle emettono in un secondo (legata, a sua volta, alla luminosità assoluta). Se di una cefeide si determina il periodo, è quindi possibile calcolarne la luminosità assoluta. Ma una stella di data luminosità assoluta può avere luminosità apparente diversa, a seconda della sua distanza dalla Terra (una sorgente intrinsecamente debole può apparire molto luminosa, se vicina, e viceversa). Se quindi osserviamo una cefeide in una galassia, possiamo determinarne il periodo (quindi la luminosità assoluta) e la luminosità apparente. Nota quanta energia la cefeide emette in un secondo (luminosità assoluta) e quanto appare luminosa (luminosità apparente), con un facile calcolo si può determinare la distanza della cefeide e, dunque, della galassia.

D'altra parte, è ben noto l'effetto Doppler: un'onda, se emessa da un corpo che si allontana, è stirata, se emessa da un corpo che si avvicina, è compressa. Ciò vale per le onde sonore (si pensi a un'ambulanza che si avvicina e poi si allontana) ma anche per le onde elettromagnetiche (dunque anche per la luce). Una galassia esibisce una serie di righe spettrali a determinate lunghezze d'onda (indicative degli elementi che la compongono): se essa si allontana, le righe spettrali saranno spostate verso il rosso, rispetto a quelle degli stessi elementi come viste in un laboratorio terrestre. Lo statunitense Hubble, nel 1924, determinò così la distanza della Nebulosa di Andromeda e scoprì che non poteva appartenere alla Via Lattea. Si confermò così che la Via Lattea è solo una delle centinaia di miliardi di galassie nel cosmo, confermando le geniali intuizioni di Kant. Per quanto ciò sembri oggi incredibile, all'inizio del secolo scorso l'idea che nell'universo esistesse una pluralità di galassie era ritenuta eretica e poco credibile.

LA LEGGE DI HUBBLE

Le scoperte di Leavitt, e l'effetto Doppler, consentirono ad Hubble (1929) di determinare la distanza e velocità di diverse galassie, nelle quali erano visibili cefeidi. Hubble scoprì la legge che oggi porta il suo nome: le galassie si allontanano con una velocità proporzionale alla loro distanza. In Fig. 3 riportiamo il grafico originale di Hubble (e Humason). Se tutte le galassie si allontanano, è logico pensare che, in un dato momento, la materia che le forma fosse concentrata in uno spazio molto ristretto (teoricamente un punto). Possiamo quindi supporre che l'universo abbia avuto origine da una "esplosione", il Big Bang, in conseguenza della quale tutte le galassie si allontanano tra di loro, secondo la legge di Hubble. In realtà, non si tratta di un'esplosione in uno spazio preesistente, quanto di una dilatazione dello spazio stesso, prevista dal modello di Friedmann/Lemaitre. Dal grafico di Hubble si può ricavare, proiettando (matematicamente) il film all'indietro, l'epoca del Big Bang. Con i dati disponibili fino agli anni '90, si poteva solo affermare che l'età dell'universo fosse compresa tra 10 e 20 miliardi di anni.

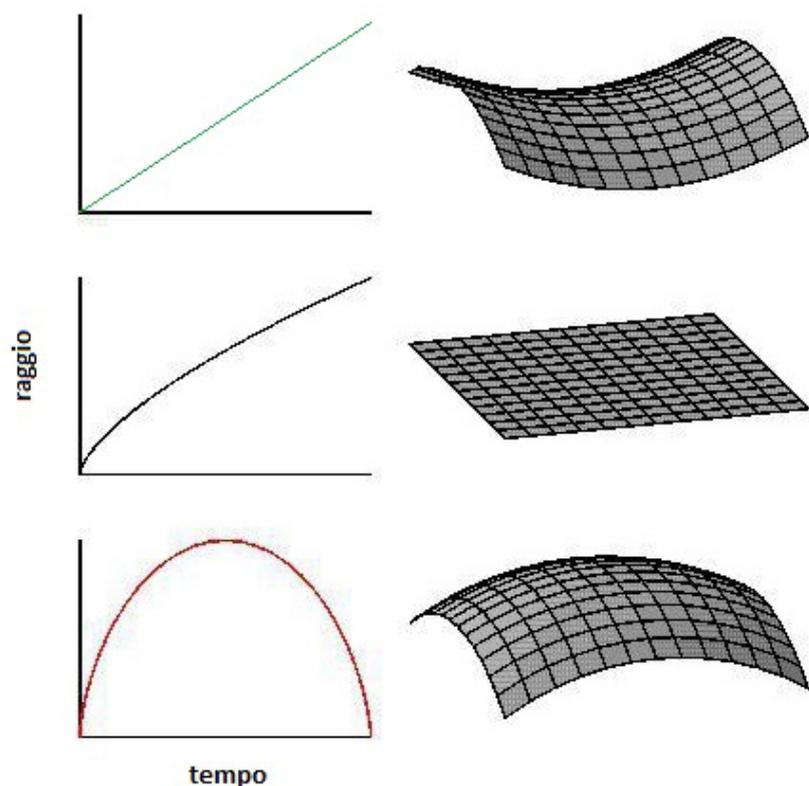


Fig.2 Nel modello classico dell'espansione dell'universo, il destino dello stesso e la sua curvatura dipendono dalla densità media. Qualora tale densità superi il valore critico (circa 10 atomi di idrogeno per metro cubo), l'universo è destinato ad arrestare la propria espansione e ricontrarsi. La sua geometria è paragonabile a quella di una sfera. Se la densità non supera il valore critico, l'universo è destinato a espandersi per sempre e la sua geometria è paragonabile a quella di una sella. Per una densità pari a quella critica, l'universo è piatto e destinato ad espandersi per sempre, però a una velocità tendente a zero.

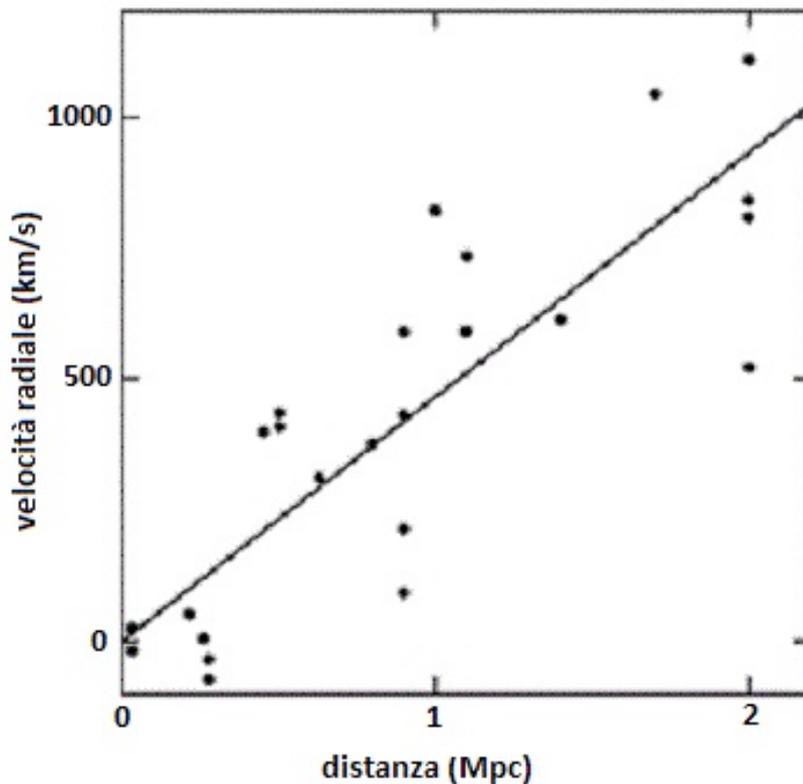


Fig.3 Il grafico originale di Hubble che mostra la proporzionalità tra velocità di allontanamento di una galassia a la sua distanza. Guardandolo col senno di poi, ci si rende conto che il grafico in questione fosse tutt'altro che perfettamente lineare. Studi successivi, però, confermarono la scoperta di Hubble.

LO STATO STAZIONARIO

Il Big Bang ebbe, per molti anni, un rivale nella teoria dello stato stazionario, dell'inglese Hoyle, secondo cui l'universo si espande ma il vuoto creato dall'espansione è colmato dalla creazione di nuova materia, a spese dell'energia gravitazionale. Vedremo nella trattazione della cosmologia moderna che l'idea di Hoyle, in un certo senso, è stata ripresa dalla cosmologia quantistica e non ha nulla di miracoloso. La teoria dello stato stazionario non giustifica però la radiazione di fondo a 3 K (di cui parleremo più avanti) e fu quindi abbandonata dopo la scoperta della stessa.

IL BIG BANG CALDO

Grazie agli statunitensi Alpher, Bethe e Gamow, dal 1948 si sviluppò la teoria del Big Bang caldo. Tale teoria determina quali particelle elementari fossero presenti a vari tempi dopo il Big Bang. Dobbiamo immaginare l'universo primordiale come una nube di particelle elementari, poi di idrogeno ed elio che, per gravità, si strutturò in ammassi di galassie. Uno dei maggiori successi del Big Bang caldo è la previsione dell'abbondanza degli elementi nell'universo (che risulta essere approssimativamente: 75% idrogeno, 24% elio, 1% altri elementi). Usando le equazioni della

teoria del Big Bang caldo, congiunte a quelle della fisica delle particelle elementari, è possibile delineare una cronologia del Big Bang (i tempi sono conteggiati dall'istante iniziale):

- Fino a 10^{-44} secondi, tutte le forze sono unificate.
- Dai 10^{-36} ai 10^{-9} secondi, le forze nucleari deboli ed elettromagnetiche rimangono unificate.
- Dopo 3 minuti, possono esistere i nuclei atomici.
- Dopo 380000 anni, possono esistere gli atomi, la radiazione si disaccoppia dalla materia e ha origine la radiazione cosmica di fondo.

I calcoli della teoria del Big Bang caldo sono piuttosto semplici, se almeno ci si accontenta di approssimazioni. Una versione (certo molto approssimata) dei calcoli che portano a delineare una cronologia del Big Bang è addirittura affrontabile con le quattro operazioni aritmetiche e poco più, come vedremo nella seconda parte di questo lavoro. A suo tempo, quindi, il lettore potrà calcolare da sé la cronologia del Big Bang che abbiamo appena presentato e lo potrà fare impiegando solamente la matematica appresa alle scuole elementari!

LA RADIAZIONE COSMICA DI FONDO

Gli statunitensi Penzias e Wilson, nel 1964, mettendo a punto un'antenna a microonde e trovandosi in presenza di un disturbo la cui intensità non variava nel tempo e nello spazio, scoprirono che l'universo è permeato di radiazione a microonde che corrisponde all'emissione di un corpo alla temperatura di circa 3 gradi Kelvin (-270 gradi Celsius). Sintonizzandoci su un canale non occupato della radio o televisione analogica, circa l'1% del rumore di fondo è dovuto a tale radiazione! La radiazione di fondo a 3 K è un residuo dell'epoca in cui, circa 380000 anni dopo il Big Bang, protoni, neutroni ed elettroni si riunirono in atomi e i fotoni furono quindi liberi di diffondersi. A causa dell'espansione dell'universo, la radiazione si stirò, per così dire, aumentando la lunghezza d'onda di un fattore ~ 1000 e oggi appartiene alle microonde.

La scoperta della radiazione a 3 K fu il trionfo della teoria del Big Bang e ne costituisce una delle principali conferme, insieme all'abbondanza cosmica degli elementi e, ovviamente, alla legge di Hubble. Lo studio della radiazione di fondo a 3 K è enormemente progredito nell'ultimo quarto di secolo, tanto che la cosmologia, un tempo scienza le cui previsioni erano spesso solo qualitative ed i cui risultati sperimentali erano spesso affetti da enormi barre d'errore, è ormai divenuta una scienza di precisione.

ALCUNE RIFLESSIONI

La cosmologia classica, impiegando le equazioni della relatività generale, accoppiate con quelle della termodinamica e della teoria delle particelle elementari, è riuscita a fornirci un quadro attendibile della nascita ed evoluzione dell'universo. Alle soglie degli anni '80 del secolo scorso, però, molti dettagli rimanevano da definire e, soprattutto, non era stato concepito alcun meccanismo fisico che giustificasse il Big Bang. Da queste domande e problemi nacquero i successivi sviluppi della cosmologia moderna (in particolare, la cosmologia quantistica e lo studio della radiazione di fondo). Alla rivoluzione concettuale che scaturì dallo studio della radiazione cosmica di fondo e dall'applicazione alla cosmologia di idee provenienti dalla fisica delle particelle, dalla meccanica quantistica e teoria dei campi, sarà dedicata la terza parte di questo lavoro. La seconda parte, invece, permetterà di mettere alla prova le conoscenze qui acquisite.

PER SAPERNE DI PIU'

Il miglior testo divulgativo sulla cosmologia classica a nostro parere è ancora: S. Weinberg, *I Primi Tre Minuti*, Mondadori, Milano, 1986 (I edizione 1973). Purtroppo il libro non risulta più in catalogo ma consigliamo vivamente di reperirne una copia sul mercato dell'usato. Per chi legge la lingua inglese (oltre all'edizione originale del Weinberg, ancora in stampa), consigliamo: A. Liddle, *An Introduction to Modern Cosmology*, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2015. Si tratta di un testo di livello universitario ma, nella miglior tradizione anglosassone, leggibilissimo, in quanto adotta tutti gli accorgimenti per semplificare la materia senza banalizzarla. Volendo acquisire una conoscenza matematica, seppur semplificata, della relatività generale e cosmologia, consigliamo una piccola perla della divulgazione scientifica, opera di un grande fisico recentemente scomparso: T. Regge, *An Elementary Course on General Relativity*, report 83-09, CERN, Geneva, 1983 (<http://cds.cern.ch/record/147689?ln=en>).



Fig.4 Penzias e Wilson, ritratti insieme all'antenna che consentì loro di scoprire la radiazione cosmica di fondo a microonde.

PICCOLA ENCICLOPEDIA ASTRONOMICA

Franco Vruna

BLAZAR

Un *blazar* è una sorgente altamente variabile e altamente compatta, associata al buco nero supermassiccio che si trova al centro della galassia che la ospita. I blazar sono fenomeni tra i più violenti dell'universo e fanno parte del gruppo dei *nuclei galattici attivi o AGN*. Essi tuttavia non sono un gruppo omogeneo, essendo divisi in due tipi: i *quasar ottici violentemente variabili o OVV* (una piccola parte tra tutti i quasar) e gli oggetti di *tipo BL Lacertae*. Alcuni oggetti possono essere considerati come *blazar intermedi*, in quanto sembrano avere sia proprietà degli OVV che proprietà dei BL Lacertae. Il nome blazar è stato coniato nel 1978 dall'astronomo Ed Spiegel.

STRUTTURA

I blazar, come tutti gli AGN, sono così energetici a causa del materiale che cade all'interno di un buco nero supermassiccio al centro della galassia ospitante. Dal buco nero sono catturati gas, polveri e stelle che creano un disco di accrescimento caldo, il quale a sua volta produce un'enorme quantità di energia sotto forma di fotoni, elettroni, positroni ed altre particelle elementari. Ci sono anche grandi anelli opachi che si estendono per vari parsec dal buco nero centrale e che contengono gas caldo in cui si trovano regioni ad alta densità; queste nubi possono assorbire e quindi riemettere energia dalle regioni vicine al buco nero e sono rilevate come linee di emissione nello spettro del blazar. Perpendicolarmente al disco di accrescimento una coppia di getti porta via plasma altamente energetico dall'AGN. Tali getti sono orientati da una combinazione di intensi campi magnetici e potenti venti che arrivano dal disco di accrescimento.

I blazar sono interpretati come galassie attive osservate in direzione del getto. Ciò permette di spiegare le caratteristiche fisiche di questi oggetti: elevata luminosità, rapida variazione di luminosità, alta polarizzazione, moto apparentemente superluminale osservato nei primi parsec del getto (nella maggior parte dei casi). La visione accettata per questi oggetti è che i quasar OVV siano potenti radiogalassie mentre gli oggetti BL Lacertae siano deboli radiogalassie. In entrambi i casi, comunque, le galassie ospiti sono giganti ellittiche.

EFFETTI RELATIVISTICI

Nei blazar si producono effetti relativistici ovvero effetti che possono essere interpretati solo facendo appello alla relatività speciale. Il principale di questi effetti si ha quando la luminosità del getto appare maggiore di quanto lo sia realmente. Gli effetti relativistici possono a volte complicare la comprensione delle caratteristiche di questi oggetti. A causa dell'effetto Doppler, ad

esempio, il getto in avvicinamento appare più luminoso e spostato verso il blu mentre quello in allontanamento appare più fioco e spostato verso il rosso. A seconda dell'angolo con cui il getto è disposto rispetto alla Terra, due blazar di per sé uguali possono sembrare molto diversi.

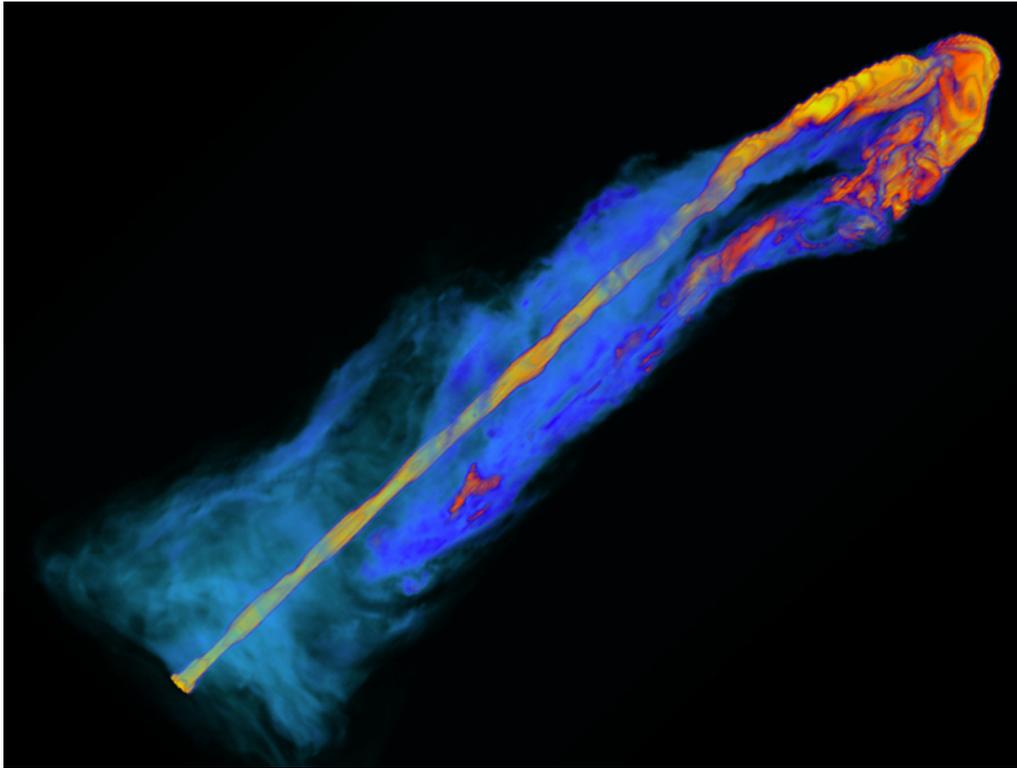
LE OSSERVAZIONI

Molti dei blazar più luminosi furono inizialmente identificati come stelle variabili irregolari della nostra Galassia. Questi blazar, infatti, cambiano la loro luminosità senza una legge precisa. Il relativamente recente sviluppo della radioastronomia mostra che esistono numerose sorgenti radio in cielo; verso la fine del 1950 la risoluzione dei radiotelescopi divenne sufficiente per identificare radiosorgenti con controparte ottica e ciò condusse alla scoperta dei quasar. I blazar sono ben rappresentati tra i primi quasar scoperti, tanto che il primo redshift fu trovato per 3C273, un quasar altamente variabile che è anche un blazar.

Tra i più notevoli esempi di blazar possiamo citare: *BL Lacertae* (identificata nel 1968 come controparte ottica di una radiosorgente nella costellazione della Lucertola, distante 900 milioni di anni luce), *Markarian 421* (situato nella costellazione dell'Orsa Maggiore, distante 360 milioni di anni luce), *OJ 279* (situato nella costellazione della Vergine), **CTA 102 (identificato nel 2017 da una collaborazione guidata da Massimo Villata dell'INAF di Torino e situato nella costellazione di Pegaso)**. Riguardo a CTA 102, sottolineiamo che lo si classifica come il blazar più luminoso finora osservato. Nella figura accanto riportiamo il risultato di una simulazione numerica (relativistica e magnetoidrodinamica) del getto di questo blazar.



Rappresentazione artistica di un blazar col suo getto.



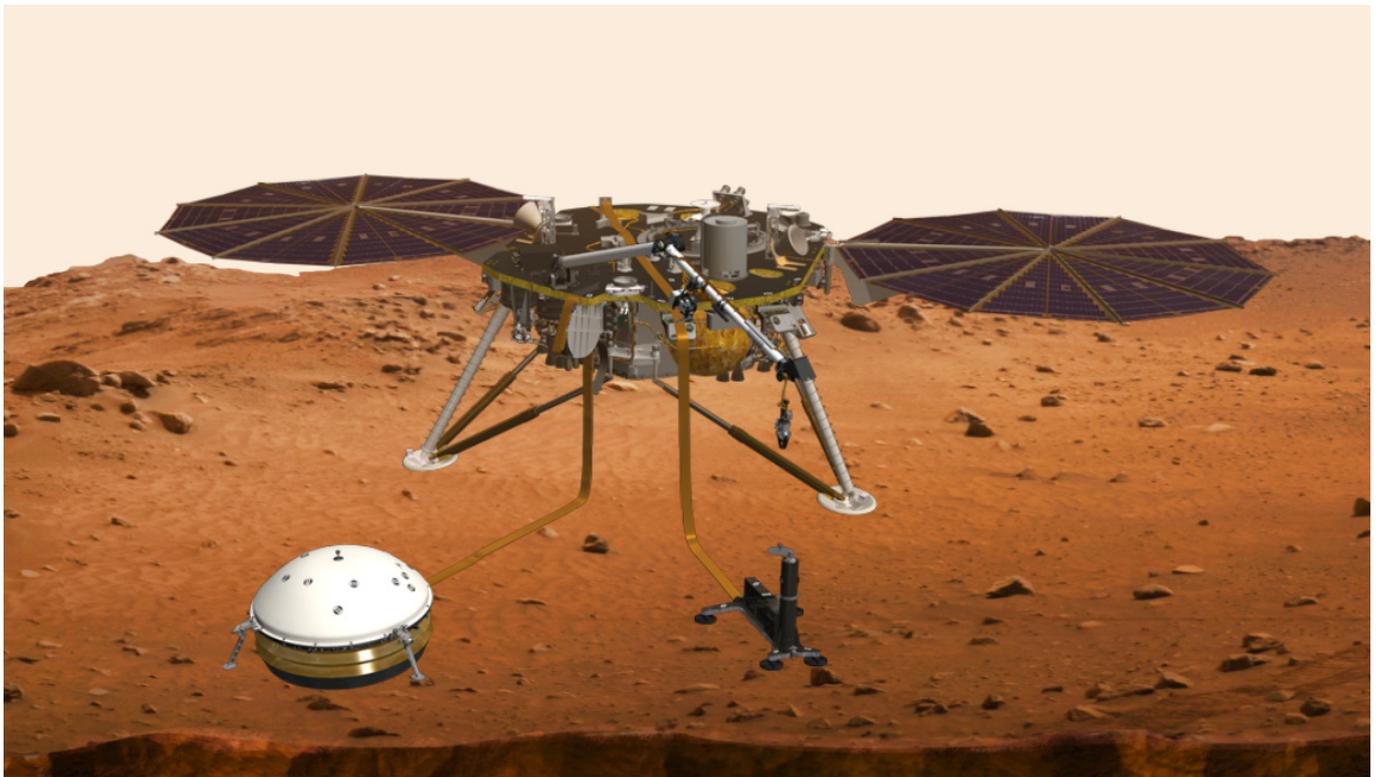
Simulazione del getto relativistico del blazar CTA 102.

ASTRO NEWS

Cristiano Fumagalli

INSIGHT È PARTITO!

Il rover InSight è partito con successo il 6 maggio scorso! Il suo “ammartaggio” è previsto per il 26 Novembre 2018. Cosa si nasconde sotto la superficie di Marte? Come si è formato il Pianeta Rosso? Cosa può insegnarci sulla Terra? InSight è la prima missione in assoluto che studierà il cuore di Marte, scrutando profondamente al di sotto della sua superficie, studiando il suo interno, misurando la sua produzione di calore e ascoltando i “martemoti”, eventi sismici simili ai terremoti sulla Terra.



Un ammasso con galassie raggianti

Nell'Universo buio e distante queste galassie sembrano lucciole, candele tremolanti, facole di brace svolazzanti su un falò o lampadine di un presepio. L'immagine Hubble che vedete mostra un gruppo massiccio di galassie tenute insieme dalla gravità, un ammasso chiamato RXC J0032.1+1808. Si tratta del programma RELICS (Reionization Lensing Cluster Survey) che Hubble sta svolgendo per fotografare 41 di questi ammassi, allo scopo di trovare le galassie più brillanti e lontane da far osservare e studiare al futuro telescopio spaziale James Webb.

Maggiori info al link:

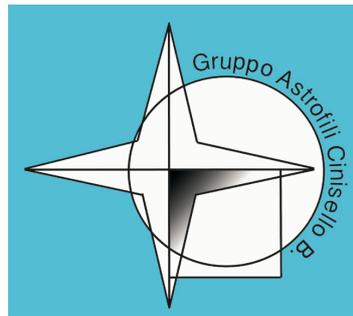
<https://www.nasa.gov/.../hubble-spies-glowing-galaxies-in-massive-cluster>



In missione per trovare migliaia di pianeti!

In missione per trovare migliaia di nuovi pianeti, il Transiting Exoplanet Survey Satellite della NASA - TESS ha scattato questa immagine di prova, la costellazione australe del Centauro, rivelando più di 200.000 stelle. Si prevede che TESS copra più di 400 volte il cielo di quanto mostrato in questa immagine, quando userà tutte e quattro le sue telecamere.





G.A.C.B.

Gruppo Astrofili Cinisello Balsamo

Sede riunioni Ex scuola Manzoni Via Beato Carino 4 20092 Cinisello Balsamo (MI)

c/o dott. Fumagalli Cristiano via Trieste 20 20092 Cinisello Balsamo (MI)

e-mail: fumagallic@tiscali.it - Cell. 347 4268868 - Cell. 349 5116302 (Ven 21-23)

Sito: <http://gacb.astrofili.org>

Yahoo: /group/GACB_Informa

FaceBook: Gruppo Astrofili Cinisello Balsamo

FaceBook: Osservatorio Astronomico Presolana

Osservatorio: Castione della Presolana - Località Lantana

Planetario: Via De Amicis 3/A - Muggiò (MB)

Delegazione UAI per la provincia di Milano

GACB e membro di CieloBuio - Coordinamento per la protezione del Cielo Notturmo

CONSIGLIO DIRETTIVO

Presidente - *Cristiano Fumagalli*

Vicepresidente - *Stefano Spagocci*

Segretario - *Mauro Nardi*

Tesoriere - *Franco Vruna*

Consiglieri:

Nino Ragusi

Sergio Brighel

SEZIONI

Astrofotografia

Cristiano Fumagalli - Matteo Morelli

Planetario

Nino Ragusi

Stelle variabili

Stefano Spagocci - Cristiano Fumagalli

Tecnica autocostruzione

Leonardo "Gianni" Vismara

Responsabile Bollettino - *Stefano Spagocci*

Impaginazione - *Nino Ragusi*