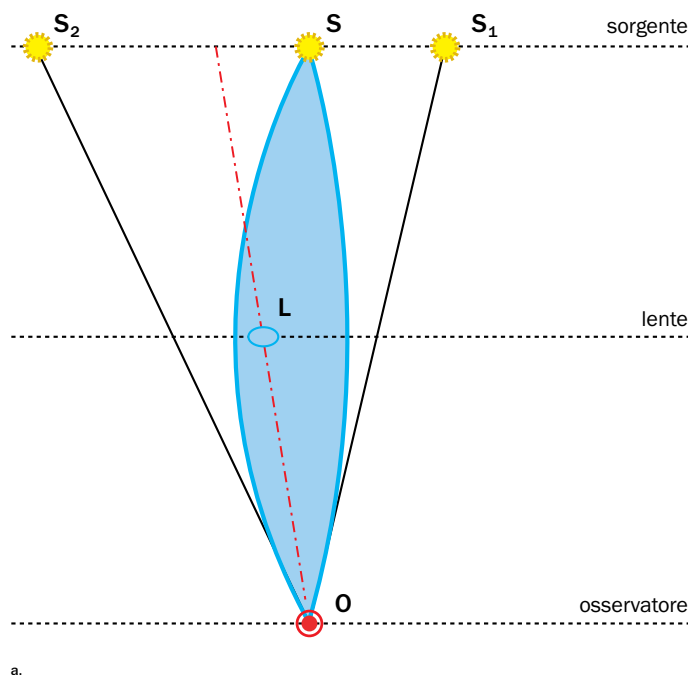


# [as] radici

## La singolare storia di una lente particolare.

di Giulio Peruzzi

Docente di Storia della Fisica  
al Dipartimento di Fisica  
dell'Università degli Studi di Padova

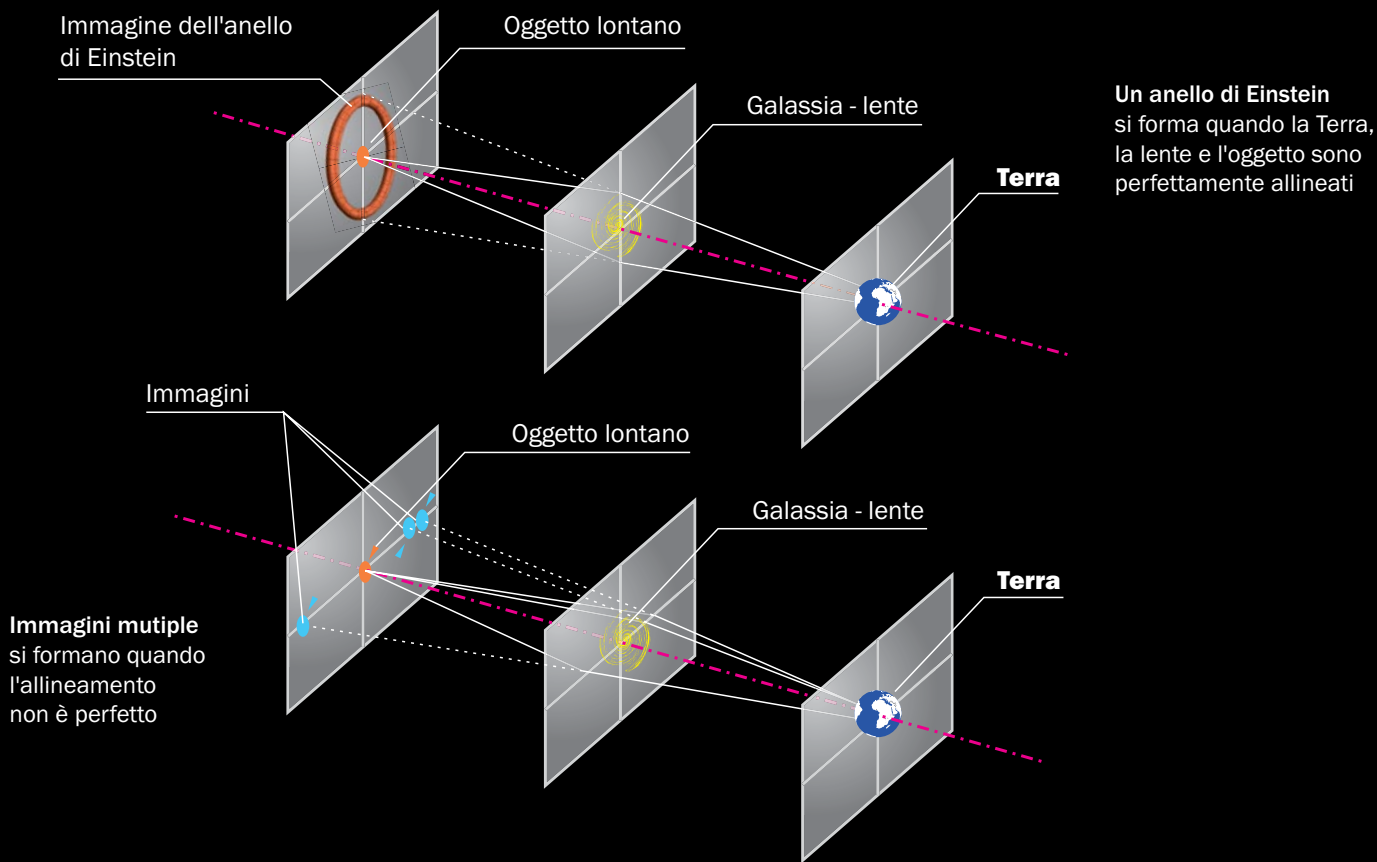


Guardando il cielo in una notte serena (e possibilmente lontano dalle luci delle nostre città) osserviamo miriadi di punti luminosi, più o meno intensi e più o meno vicini tra loro, alcuni così vicini da dare l'impressione di una caligine luminosa diffusa. Tutta la materia dell'Universo è contenuta lì, nelle stelle e nelle galassie? Sicuramente no, e il pianeta su cui abitiamo ne è un esempio, come ne è un esempio "la stella del mattino" e la "stella della sera" che altri non è che Venere così luminosa perché così vicina a noi e al Sole. Ma è possibile "vedere" la materia quando non emette luce o quando la emette in modo troppo flebile per essere osservata a grandi distanze? Sì, se la materia si comporta rispetto alla luce come una sorta di lente. Una lente assai singolare le cui proprietà potrebbero essere indagate partendo dalle distorsioni da questa prodotte nelle immagini delle stelle e delle galassie. Una lente sulla quale fisici e astronomi riflettono da più di trecento anni ma che solo da una trentina d'anni ha cominciato a essere sistematicamente utilizzata.

Se la materia agisce sulla luce curvando la sua traiettoria è possibile immaginare

che un osservatore terrestre veda prodursi nel cielo fenomeni simili a quelli prodotti da una lente. Infatti, se la luce emessa da una sorgente (di solito una stella) nel suo tragitto verso la Terra incontra un addensamento di materia che la deflette, l'immagine della stella dovrebbe risultare alterata: a seconda della posizione e delle distanze relative tra sorgente, lente (addensamento di materia) e ricevitore l'immagine originale della stella potrebbe essere moltiplicata in più immagini "virtuali" o dare luogo ad anelli luminosi. Dallo studio di queste immagini si potrebbe inferire una serie di proprietà – come la distanza, la dimensione e la massa – di eventuali ammassi di materia non visibile (la materia oscura) che funga da lente. Per quanto strano possa sembrare, l'idea della deflessione della luce da parte della materia venne proposta per la prima volta più di trecento anni fa da Isaac Newton. Newton aveva a lungo cercato di ottenere una teoria della luce che lo soddisfacesse quanto la sua trattazione della meccanica e della legge di gravitazione universale. Tuttavia i fenomeni luminosi sembravano di gran lunga più complessi ed evidenziavano sia aspetti corpuscolari (che Newton

padroneggiava egregiamente con i suoi principi della meccanica) sia aspetti ondulatori che sembravano richiedere l'intervento di un qualche etere che con le sue onde modulasse il moto dei corpuscoli costituenti la luce. La provvisorietà avvertita da Newton nella formulazione della teoria della luce è evidente in una serie di "Questioni" aperte che concludono la sua maggiore opera sul tema, l'*Opticks*, la cui prima edizione viene stampata nel 1704. Non è un caso che nelle edizioni successive le suddette "questioni" aperte vengano via via riviste e ampliate. Ebbene, nella Questione 1 dell'*Opticks* del 1704, Newton si chiede: "I corpi non agiscono a distanza sulla luce, e per effetto della loro azione non incurvano i raggi di essa? E questa azione non è (a parità delle altre cose) massimamente forte alla minima distanza?". Ancorché la domanda sembrasse retorica, né Newton né i suoi epigoni settecenteschi approfondirono il tema e la questione venne ripresa solo un secolo dopo dall'astronomo tedesco Johann Georg von Soldner. Il contributo di Soldner è contenuto nel suo articolo per l'*Astronomisches Jahrbuch für das Jahr 1804* (pubblicato nel 1805 ma da



b.

lui inviato nel 1801) dal titolo “Sulla deviazione di un raggio di luce dal suo moto in linea retta per l’attrazione di un corpo celeste al quale passa vicino”. Trattando la cinematica di un raggio di luce inteso come un “corpo materiale”, Soldner calcolava la deflessione di questo da parte del Sole giungendo al valore 0,84 secondi d’arco.

Passano ancora più di cento anni prima che la questione della deflessione della luce venga ripresa. È il 1907 e Einstein sta scrivendo un articolo di rassegna sulla relatività ristretta per lo *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*, che verrà pubblicato nel 1908. Le sue riflessioni lo conducono inevitabilmente, come scrive lui stesso, a “tentare anche di modificare la teoria newtoniana della gravitazione in modo da rendere le sue leggi compatibili con la relatività ristretta”. E così, nell’ultima parte dell’articolo dal titolo “Principio di relatività e gravitazione”, Einstein affronta per la prima volta le questioni fondamentali che lo porteranno alla relatività generale, tra cui appunto la deflessione della luce da parte di un corpo materiale. Per circa tre anni Einstein non pubblica più nulla sull’argomento. Il periodo di silenzio viene interrotto nel 1911 con l’articolo dal titolo “Sull’influenza della gravitazione sulla propagazione della luce”, dove ricompaiono in forma più matura e generale le idee proposte nell’articolo del 1908, tra le quali una prima stima della deflessione della luce da parte del Sole pari a 0,83 secondi d’arco. La stima basata su una teoria ancora incompleta – solo in seguito Einstein avrebbe introdotto la “curvatura” dello spazio tempo – era errata, ma singolarmente simile a quella ottenuta su basi puramente classiche da Soldner. Proprio anche per verificare la previsione di Einstein della deflessione della luce, nel 1912 e nel 1914 vennero organizzate spedizioni per lo studio delle eclissi solari. Diversi ostacoli, tra cui l’inizio della prima guerra mondiale, evitarono un esperimento prematuro che avrebbe screditato la teoria. Dal 1911 Einstein si concentra sulla formulazione della nuova teoria. Tra l’altro nel 1912, come si legge in un quaderno di appunti recentemente scoperto, Einstein deriva le equazioni per le lenti gravitazionali dalle quali discende la possibilità di avere più immagini virtuali ingrandite dello stesso oggetto luminoso.

La relatività generale verrà presentata in forma compiuta nel novembre del 1915. Einstein è quindi in grado di correggere le stime precedenti: la deflessione della luce che passa radente al disco solare deve essere doppia rispetto a quella da lui stimata nel 1911 e pari a circa 1,75 secondi d’arco. Vale la pena notare che, a differenza della relatività ristretta che aveva a disposizione un ampio ventaglio di fatti sperimentali acquisiti nel corso di almeno due secoli di ricerche sull’elettricità,

a. Funzionamento di una lente gravitazionale. La disposizione relativa della sorgente S, della lente L e dell’osservatore O fa sì che la luce proveniente da S passando sui lati opposti di L venga deviata producendo immagini  $S_1$  e  $S_2$  dello stesso oggetto.

b. Lente gravitazionale. Disposizione relative della sorgente, della lente e della Terra per cui la luce proveniente dalla sorgente passando sui lati opposti della lente viene deviata simulando in alto un anello luminoso e in basso due immagini dell’oggetto sorgente.



il magnetismo e l'ottica, la relatività generale viene concepita quando solo due sono le evidenze sperimentali disponibili: il principio di equivalenza tra massa inerziale e massa gravitazionale e l'anomalia nella precessione del perielio di Mercurio. In questo senso la deflessione della luce costituiva una nuova predizione, fondamentale per la conferma della validità della teoria. È quindi comprensibile l'entusiasmo col quale vennero accolti i risultati delle misure effettuate sull'eclisse del 1919 dalle spedizioni di Eddington all'Isola del Principe e di Sobral nel nord del Brasile, risultati che confermavano le previsioni della relatività generale. È l'inizio del "mito Einstein".

La scoperta della deflessione della luce tuttavia non suscita immediatamente l'interesse che ci si potrebbe aspettare per le lenti gravitazionali. In una prima fase che va dal 1919 al 1936, in modo più o meno convinto e più o meno qualitativo il fenomeno viene menzionato in tre scritti, uno di O. Lodge (1919), uno di A. Eddington (1920) e uno di O. Chwolson (1924). Una nuova fase inizia nel 1936, quando Einstein, stimolato da uno scienziato dilettante ceco di nome Rudi W. Mandl, pubblica una breve nota nella quale, apparentemente dimentico dei suoi appunti del 1912, ricava nuovamente l'equazione delle lenti gravitazionali. Einstein per altro non manifesta grande convinzione sulla effettiva osservabilità del fenomeno. L'articolo però non passa inosservato, anche perché l'astronomia e la cosmologia in quegli anni avevano fatto importanti progressi rispetto al 1919: era ormai assodato che l'Universo fosse popolato da innumerevoli galassie e che, grazie alle scoperte di Hubble del 1929, risultasse in espansione. Ecco quindi che nel 1937 compaiono almeno quattro articoli che hanno come tema le lenti gravitazionali e le loro possibilità applicative: due a febbraio, uno di Fritz Zwicky e l'altro di Henry Norris Russell, ad aprile ancora uno di Zwicky, e uno a giugno di Gavriil A. Tikhov. Proprio negli articoli di Zwicky viene introdotto per la prima volta il termine attualmente in uso di "lente gravitazionale". Ed è sempre Zwicky che sottolinea la correttezza delle perplessità di Einstein sulla osservabilità del fenomeno utilizzando solo le stelle, ma evidenzia che le galassie hanno maggiore probabilità ("praticamente la certezza") di funzionare come lenti gravitazionali.

L'effetto di "lente gravitazionale" può quindi essere davvero usato come sorta di "telescopio naturale" fornendo: "una nuova verifica della relatività generale"; "la possibilità di osservare nebulæ che non sono alla portata degli attuali telescopi"; "una più diretta determinazione della massa nebulare". Tuttavia, nonostante l'ottimismo di Zwicky, solo nel 1979 verrà effettivamente osservato per la prima volta l'effetto di una lente gravitazionale per una coppia di quasar separate nel cielo di soli 6 secondi d'arco. Queste sono interpretate come due immagini dello stesso oggetto: mostrano identiche componenti dello spettro di emissione, e hanno lo stesso *redshift* (cioè si trovano alla stessa distanza). Inoltre eventuali fluttuazioni di luminosità di un'immagine si ripresentano nell'altra con un ritardo di alcuni mesi dovuti alla differenze di cammino ottico. Successivamente, tra il 1980 e il 1981, ricerche ottiche evidenzieranno la presenza di una galassia ellittica con debole luminosità, collegata ad un ammasso di galassie, alla distanza di un secondo d'arco da una delle immagini: è il corpo che funge da lente.

Da questo primo risultato osservativo le ricerche sulle lenti gravitazionali sono diventate sempre più intense, dando vita a numerose collaborazioni internazionali nel settore stimulate anche dalle nuove osservazioni e dalle nuove teorie in ambito astrofisico e cosmologico.

c.

Grandi concentrazioni di massa possono agire come lenti. Quasi tutti gli oggetti luminosi della fotografia sono galassie nell'ammasso noto come Abel 2218. Esso ha una massa così grande e compatta da provocare la deflessione della luce proveniente da galassie che si trovano al di là di questo, che quindi appaiono a noi distorte a forma d'arco. Nella fotografia, ripresa dal telescopio Hubble, sono visibili molti archi, allungati e di debole intensità.