

Palmieri's discovery of terrestrial Helium: was it a mistake or not?

Marco Taddia – Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica –
marco.taddia@unibo.it

Abstract: Helium was initially recognized as a new element in the solar chromosphere (1868) thanks to the contributions of astronomers, physicists and chemists. Many years later it was discovered on Earth, especially as a result of the experimental investigations carried out in 1895 by the chemist William Ramsay (1852-1916) and the spectroscopist William Crookes (1832-1919). Discussions on the priorities of the discoveries, regarding both terrestrial and solar helium, are available in the literature. In such historically complicated context, the present study investigates the controversial case of Luigi Palmieri (1807-1896) who, in 1881, believed to have identified helium, *via* the D₃ line, in a Vesuvius butyraceous sublimate. Unfortunately, he failed to show concrete evidence of what he claimed and just after the Ramsay's discovery he explained this was due to a laboratory accident. This did not stop the criticism on the Palmieri's first announcement. The astronomer and spectroscopist Charles A. Young (1834-1908) supposed the helium spectrum was mistaken because of unsuitable experimental conditions. When the Italian chemist Raffaello Nasini (1854-1931) tried to repeat the search for helium in Vesuvian products, with the same methodology as Palmieri, the results were negative.

Keywords: Helium discovery, Terrestrial Helium, Luigi Palmieri, William Ramsay.

1. Introduzione

Se agli inizi del secolo XX non si sapeva a cosa potesse servire, oggi l'elio è diventato una risorsa strategica e, trattandosi di una materia prima non rinnovabile, l'annuncio di nuove disponibilità suscita un giusto clamore. Così avvenne nell'estate 2016, durante la Goldschmidt Conference, l'appuntamento più importante a livello mondiale per coloro che si occupano di geochimica. Quell'anno la sede era Yokohama e quando, nella tarda mattinata del 28 giugno, Miss Diveena Danabalan (Dipartimento di Scienza della Terra dell'Università di Durham) presentò la sua comunicazione (Danabalan *et al.* 2016), la stampa internazionale ne diede subito notizia (Sample, 2016). A nome di un gruppo di scienziati appartenenti alle Università di Durham e Oxford, cui si aggiungevano ricercatori della startup norvegese "Helium One Limited", la giovane Diveena aveva annunciato la scoperta di un giacimento di elio in Tanzania. Al momento si trattava di affio-

ramenti di gas dal terreno con un tenore in elio compreso fra 2,7 e il 10,6%, ma i calcoli facevano pensare che provenissero da un giacimento di dimensioni mai viste prima. Si parlava infatti di circa 152 milioni di metri cubi di gas, per un valore potenziale di 3,5 miliardi di dollari. La regione era quella del Rukva, una zona che prende il nome dall'omonimo lago situato circa a metà del percorso tra il lago Tanganica e il Niassa. La scoperta risultò del tutto inattesa, tanto più che la Tanzania non era nemmeno considerata tra i Paesi produttori. A fine luglio anche il più importante quotidiano economico italiano diede ampio risalto alla scoperta, con un servizio ricco di dati tecnici, teso a sottolineare l'importanza dell'elio come materia prima strategica nella tecnologia e nella sanità (Romeo 2016, pp. 12-13).

A parte queste vicissitudini, l'elio ha fatto recentemente parlare di sé perché è stato sintetizzato, ad alte pressioni, il composto di formula Na_2He , solido e stabile (Miao 2017, pp. 409-410). Tale risultato porta a rivedere, in campo chimico, il mito del "più nobile dei gas nobili", così come, in campo storico, una ricerca del danese Helge Kragh (Kragh 2009) ha apportato alcune correzioni alla storia "standard" della sua scoperta nel Sole, antecedente quella sulla Terra. Questo lavoro si occupa della seconda e, in particolare, delle critiche rivolte all'italiano Palmieri che nel 1881 annunciò di averlo trovato nei materiali vesuviani.

2. Un elemento puramente ipotetico?

Il riconoscimento dell'elio come nuovo elemento è strettamente collegato alla sua scoperta nella cromosfera solare. La scoperta dell'elio solare ha preceduto quella dell'elio terrestre e risale al 1868 (Kragh 2009, pp. 160-165). L'occasione fu l'eclisse totale di Sole del 18 agosto e i principali protagonisti, secondo la narrazione "standard", furono due astronomi: il britannico Joseph Norman Lockyer (1836-1920) e il francese Pierre Janssen (1824-1907). Oltre al telescopio, lo strumento che ebbe un ruolo cruciale nella scoperta fu lo spettroscopio, divenuto un potente mezzo di analisi elementare da poco meno di dieci anni, specialmente per merito del chimico Robert Bunsen (1811-1899) e del fisico Gustav Kirchhoff (1824-1879) (Taddia 2000). La vicenda ruotava intorno alla presenza nello spettro solare di una riga gialla di origine incerta, successivamente denominata riga D_3 , adiacente il doppietto del sodio (589,3 nm) il quale è contrassegnato con la lettera D.

Ma chi fu il primo a scoprire tale riga e a porre in dubbio la sua attribuzione ad elementi conosciuti? Qui la storia si complica e altre figure di scienziati appaiono in scena.

Pierre Janssen era stato inviato in missione dal "Bureau des longitudes" e dall'"Académie des sciences" e osservò l'eclisse da Guntur (India). Egli studiò spettroscopicamente le protuberanze solari concludendo che, a suo avviso, erano principalmente costituite da idrogeno. Intenzionato a proseguire le indagini, escogitò un sistema per indagare ulteriormente la loro costituzione anche in assenza di eclisse. Due settimane dopo comunicò all'Académie tale invenzione (Janssen 1868, p. 838) e caso volle che, indipendentemente da lui, lo facesse anche Joseph Norman Lockyer, cosicché

le due comunicazioni pervennero in contemporanea (Delaunay 1868, p. 868). Fu Lockyer tuttavia, non Janssen, a segnalare che in prossimità del doppietto D del sodio appariva un'altra riga gialla più rifrangibile di 8-9 gradi sulla scala Kirchhoff e a concludere poi, insieme al chimico Edward Frankland (1825-1899) che essa era spostata di diversi angstroms rispetto alla D e quindi non poteva attribuirsi al sodio (Kragh 2009, pp.164-165). Lo stesso Lockyer riconobbe però che l'unico osservatore dell'eclisse a sollevare qualche dubbio sulla vera natura di quella riga giallo-arancio, che quasi tutti confondevano con quella del sodio, fu il britannico Norman Robert Pogson (1829-1891) (Lockyer 1896, p. 320).

Per osservare l'eclisse, Pogson si trovava a Masulipatam e a differenza di Janssen, Tennant e Herschel aveva dei dubbi in merito a quella riga prodotta dalle protuberanze solari, che non aveva alcuna corrispondenza con le righe nere di Fraunhofer (Nath 2013, pp. 155-156).

Dopo l'eclisse del 1868, Lockyer s'impegnò nella direzione di «Nature», la neonata rivista scientifica dell'editore Mcmillan. Quando riprese ad occuparsi della misteriosa riga D₃ insieme a Frankland, i due esclusero che si trattasse di uno spostamento del doppietto del sodio dovuto ai venti solari, come si verificava per l'idrogeno e chiamarono elio l'elemento sconosciuto:

I found that the yellow line behaved quite differently from either the red or the blue line; so then we knew that we were not dealing with hydrogen; hence we had to do with an element which we could not get in our laboratories, and therefore I took upon myself the responsibility of coining the word helium, in the first instance for laboratory use (Lockyer 1896, p. 321).

Tuttavia, non fu Lockyer a pronunciare in un incontro pubblico, per la prima volta, il nome elio (derivato da *hélíos*) ma Sir William Thomson (poi Lord Kelvin). Avvenne nel 1871 ad Edimburgo, dove si teneva una riunione della "British association for the advancement of science". Aggiunse anche che, fino a quel momento, non era stato possibile riprodurre la nuova riga, impiegando per l'eccitazione alcuna fiamma terrestre (Nath 2013, p.194).

Il mistero dell'assenza dell'elio sulla Terra era destinato a perpetuarsi per un po' di tempo e le cause ipotizzate furono parecchie. La principale faceva riferimento alle ipotesi in discussione sull'origine degli elementi e in particolare a quella del britannico William Prout (1785-1850). Egli sosteneva che tutto, in pratica, aveva avuto inizio dall'idrogeno e così alcuni pensarono che l'elemento base potesse essere l'elio, se non che l'elio aveva un peso atomico maggiore dell'idrogeno (Nath 2013, p. 213). Anche William Crookes prese posizione al riguardo, definendo inizialmente l'elio «an element purely hypothetical» (Nath 2013, p. 212).

Le dispute intorno all'elio come nuovo elemento, alle sue forme e al fatto che fosse introvabile sulla Terra si protrassero per circa un quarto di secolo, ma intanto qualche manuale di analisi spettroscopica, come quello di Kaiser, cominciò a citarlo (Kragh 2009, p. 166) seppure con riserva, dando notizia anche di Palmieri.

3. Luigi Palmieri

Quando il fisico e vulcanologo Lorenzo Casertano (1921-2004) commemorò la vita scientifica di Luigi Palmieri (Faicchio, 1807-Napoli, 1896) nel centenario della morte, ricordò che da altri autorevoli scienziati il Palmieri era stato definito “Padre della Vulcanologia” e “Fondatore della Vulcanologia” (Casertano 1999, p. 584). Se si passano in rassegna i momenti della sua carriera non si intravedono, a dire il vero, molti elementi che lo confermano. Studiò inizialmente nei Seminari di Caiazzo e Avellino poi si iscrisse all’Università di Napoli dove conseguì la laurea in matematica nel 1825. Qualche anno dopo si laureò anche in filosofia e nel 1831 fondò una scuola privata, denominata “Accademia di matematica e filosofia”, in cui insegnò. Ebbe incarichi anche presso il “Real collegio navale” di Napoli e dal 1847 presso l’Università, come docente di Logica e Metafisica, subentrando al filosofo Pasquale Galluppi (1770-1846). È evidente allora che Palmieri fu personaggio di vasta cultura, con una solida formazione filosofica che però non gli impedì di interessarsi di fisica terrestre ed elettricità atmosferica. Prese anche ad occuparsi di eruzioni vulcaniche e di terremoti, tant’è che nel 1850 studiò l’eruzione del Vesuvio e nell’anno seguente, in collaborazione con il mineralogista e cristallografo Arcangelo Scacchi (1810-1893), il suo primo terremoto. Nel dicembre 1854 fu chiamato a dirigere l’Osservatorio Astronomico Vesuviano e nel 1860 gli fu assegnata la cattedra di fisica terrestre e meteorologia istituita su sua richiesta. Insieme alla cattedra conservò le cariche di direttore della “Specola meteorologica” e dell’osservatorio. Sposò Angela Gigli che gli diede cinque figli. Morì a Napoli nel 1896. Fu socio di molte accademie e ricoprì anche la carica di senatore del Regno d’Italia dal 1876 (Schettino 2014).

La fisica e la geologia sono le due discipline in cui conseguì brillanti risultati. Per quanto riguarda la prima, i suoi contributi principali riguardano l’ideazione e costruzione di nuovi strumenti. Si ricordano in proposito il cosiddetto “cerchio di Palmieri”, un dispositivo che sfrutta il campo magnetico terrestre per ottenere una corrente indotta in un circuito in moto, e l’elettrometro bifilare per misurare l’elettricità atmosferica.

Ideò e costruì un sismografo elettromagnetico, più correttamente un sismoscopio, che poteva individuare i vari tipi di scosse telluriche e con il quale poteva studiare meglio la relazione fra attività vulcanica e movimento terrestre (Schettino 2014).

4. L’elio vesuviano

Così come gli astronomi si erano avvalsi dello spettroscopio per l’analisi delle protuberanze solari, così fece Palmieri per quanto riguarda i materiali vesuviani con l’intento di individuarne i componenti. In questo caso era necessario introdurre in una fiamma i campioni da analizzare e riconoscere successivamente le righe di emissione dei vari elementi. A quei tempi la fiamma impiegata per compiere l’operazione era quella prodotta da un becco Bunsen. Le sue prime analisi si riferivano alle fumarole del Vesuvio e in una comunicazione sull’argomento, presentata alla “R. accademia di scienze fisiche e matematiche” di Napoli nell’adunanza del 5 aprile 1873, annunciò di aver riscontrato la presenza del tallio, dell’acido borico e del calcio (Palmieri 1873).

A parte questo, la vera novità è la segnalazione di due righe di origine sconosciuta, una delle quali costituisce, probabilmente, un'anticipazione della scoperta dell'elio:

Debbo finalmente annunziare all'Accademia l'apparizione di due nuove righe che non so di appartenere ad alcuno de' metalli conosciuti, le quali due righe essendo indipendenti, giacché non si manifestano insieme, fan sospettare l'esistenza di due nuovi corpi. Una di queste righe vien dopo la riga D del sodio ed un'altra appare tra la riga E e b. Io aspetto il compimento della collezione de' cloruri per decidere definitivamente la quistione (Palmieri 1873, p. 47).

Alcuni mesi dopo, infatti, Palmieri riferisce in merito all'analisi spettroscopica di una «sostanza amorfa di consistenza butirrea e di colore giallo sbiadato sublimata sull'orlo di una fumarola prossima alla bocca di eruzione». Ecco le sue parole:

Saggiata questa sublimazione allo spettroscopio, ho ravvisato le righe del sodio e del potassio ed una riga lineare ben distinta che corrisponde esattamente alla D_3 che è quella dell'Helium. Do per ora il semplice annunzio del fatto, proponendomi di ritornare sull'argomento, dopo di aver sottoposto la sublimazione ad analisi chimica (Palmieri 1881, p. 233).

Era il 12 novembre 1881 e trascorsero alcuni anni prima che Palmieri riprendesse il discorso. Ciò avvenne nel 1896, dopo che William Ramsay (1852-1916) scoprì l'elio nel minerale cleveite (1895a, 1895b) e William Crookes (1832-1919) ne ottenne lo spettro (1895). La nuova comunicazione di Palmieri, che attribuisce ad un incidente di laboratorio l'interruzione degli esperimenti sull'elio, è del maggio 1896.

Ecco la giustificazione del mancato proseguimento:

Io avea la speranza di poter separare l'helium dalle sostanze colle quali era mescolato, ma essendo avvenuta la catastrofe della caduta dell'impalcatura della terza stanza della Specola universitaria dove si conservava la importante collezione delle sublimazioni vesuviane coi reattivi per saggi chimici, lo spettroscopio ed altri strumenti, i recipienti di cristallo ove erano conservate le sublimazioni furono infranti e il loro contenuto rimase confuso con le macerie (Palmieri 1895, p. 121).

5. I critici

A proposito della scoperta di Palmieri, l'astronomo e spettroscopista solare Charles Augustus Young (1834-1908) scrisse:

Palmieri, the director of the earthquake observatory upon Vesuvius, announced that he has found D_3 in the spectrum of one of the lava minerals with which he was dealing. But he did not follow up the announcement with any evidence, nor has it ever received any confirmation, and from what we now know as to the conditions necessary to bring out the helium spectrum, there is every reason to suppose that he was mistaken (Young 1896, p. 339).

Il richiamo alle condizioni sperimentali necessarie per osservare lo spettro dell'elio, che Young introduce nella sua valutazione critica, è un punto della massima importanza. Sulla base dell'equazione di Boltzmann oggi è facile calcolare che la particolare stabilità dell'elio e le energie in gioco (*Energy levels of neutral Helium (He I)* 2005) precludono la possibilità di osservare l'emissione atomica dell'elio nella fiamma Bunsen ordinaria ($t=1400^{\circ}\text{C}$ ca.). Palmieri affermava di aver utilizzato proprio quella, mentre Crookes introduceva il gas da analizzare in un tubo da vuoto e poi lo riscaldava per induzione (Crookes 1895, p. 428).

La prova che il punto debole della presunta scoperta di Palmieri fosse proprio il mezzo di eccitazione impiegato per generare lo spettro dell'elio venne dai lavori di Raffaello Nasini (1854-1931) e Francesco Anderlini (1844-1933). I due, dopo il periodo esplosivo che caratterizzò il Vesuvio nel 1895, analizzarono di nuovo le incrostazioni che si trovavano lungo la grande spaccatura, proprio come Palmieri. Ne riferirono i risultati ai Lincei nel 1904 (Nasini, Anderlini 1904) e pubblicarono successivamente un'altra nota (Nasini, Anderlini 1906). Il materiale raccolto veniva riscaldato su filo di platino e posto sulla fiamma Bunsen, prima e dopo averlo inumidito con acido cloridrico o solforico. L'elio non fu trovato e i due scrissero testualmente:

Dato che lo scopo precipuo delle indagini che precedono era di vedere se si potesse riscontrare la riga D_3 dell'elio, osservata dal Palmieri, in tutte le esperienze di cui si fece parola, si indagò attentamente il campo giallo, ma neppure un solo istante apparve la riga dell'elio (Nasini, Anderlini 1904, p. 155).

Nasini e Anderlini provarono addirittura ad utilizzare la fiamma ossidrica, con diverse varianti, nonché la scintilla scattata fra poli di platino rivestiti dei prodotti inumiditi o no con acidi, estendendo gli esperimenti anche a minerali come la monazite e l'uraninite. Essi segnarono la presenza di molte righe vicinissime alla D_3 “ma dovute sia all'aria, sia al calcio, come risultò da misure di lunghezza d'onda e spettri di confronto”. La conclusione fu lapidaria e certamente non favorevole a Palmieri:

L'insieme di questi fatti viene a confermare l'opinione ormai corrente che gli spettri caratteristici dei gas non possono apparire, nelle ordinarie condizioni, nelle fiamme (Nasini, Anderlini 1904, p. 156).

Nella seconda nota (Nasini, Anderlini 1906), dopo un'ampia disamina della letteratura esistente e, in particolare il richiamo ad autori che avevano segnalato lo sviluppo di luce e calore quando l'elio “si libera da corpi che lo contengono” (Thomsen, 1898), prevale la cautela. Pur non essendo riusciti ad ottenere spettri di emissione visibili di altri gas nelle fiamme comuni e la riga dell'elio nei prodotti vesuviani, riproducendo le condizioni di Palmieri, Nasini e Anderlini concludono, solo sulla base della letteratura: “Non sembra quindi assolutamente impossibile che il Palmieri abbia potuto vedere lo spettro dell'elio” (Nasini, Anderlini 1906, p. 563).

A questo punto si potrebbe pensare che Palmieri avesse scambiato un'altra riga per la D_3 e che la sua comunicazione all'accademia napoletana, non sottoposta a verifica, fosse stata prematura.

Nel 1911 il chimico Arnaldo Piutti (1857-1928) pubblicò un poderoso lavoro in cui raccolse i risultati delle sue ricerche sull'elio nei materiali solidi e gassosi del Vesuvio, portate a termine grazie a finanziamenti ottenuti dal ministro Rava (Piutti 1911, p. 458). Citando Palmieri e discutendone la presunta scoperta, egli ricordava che l'autore disponeva di uno spettroscopio Duboscq a quattro prismi, acquistato il 18 febbraio 1876, il quale permetteva di vedere ben distinte l'una dall'altra le righe D_1 , D_2 , D_3 . Aggiunse che anche volendosi accostare alla conclusione modificata di Nasini:

È ormai fuor di dubbio che il Palmieri non dimostrò spettroscopicamente la presenza dell'elio nel Vesuvio, non isolò alcun gas, né indicò la specie mineralogica da cui proveniva, rendendo così impossibile un qualunque controllo (Piutti 1911, p. 460).

Piutti analizzò vari minerali, radioattivi e non radioattivi, oltre all'aria di Napoli, ricavando lo spettro di emissione del gas mediante scarica elettrica in tubo di Plücker. Per la separazione dagli interferenti si avvaleva di procedure simili a quelle dei chimici statunitensi Hamilton Cady (1874-1943) e David McFarland (1878-1955). Nel 1903, costoro avevano scoperto l'elio nel gas naturale che fuoriusciva da un pozzo scavato per cercare petrolio, nei pressi di Dexter (USA) (Seibel 1968, pp. 9-20).

6. Conclusioni

Si può trovare, non soltanto in rete, che Palmieri fu il primo a rivelare la presenza dell'elio sulla Terra, trascurando il fatto che poco dopo la sua scoperta venne messa in dubbio dalla comunità scientifica. La causa principale era la mancanza di dati sperimentali a sostegno dell'annuncio del 1881, contenuto in una comunicazione alla quale non seguì conferma come promesso dall'autore. Critiche più argomentate riguardavano le condizioni impiegate da Palmieri e in particolare il mezzo di eccitazione, ritenuto inadatto a ricavare gli spettri di emissione. Perciò fu avanzata l'ipotesi di un errore interpretativo che, alla luce delle conoscenze odierne, risulta fondata. In conseguenza di ciò non vi è alcuna prova scientifica che Palmieri abbia scoperto l'elio sulla Terra.

Bibliografia

- Casertano L. (1999). "The scientific life of Luigi Palmieri. 100th anniversary commemoration (21/04/1807-09/09/1896)". *Annali di Geofisica*, 42 (3), pp. 581-585.
- Crookes W. (1895). "The spectrum of helium". *Chemical News*, 71, pp. 151-152.
- Danabalan D., Gluyas J.G., Macpherson C.G., Abraham-James T.H., Bluett J.J., Barry P.H., Ballentine C.J. (2016). *New High-Grade Helium Discoveries in Tanzania*, in Goldschmidt Conference Abstracts, p. 595 [online]. URL: <<https://whiteiron.org/uploads/conferences/26/abstracts/A-Z.pdf>> [data di accesso: 11/02/2019].

- Delaunay M. (1868). "Sur la découverte d'un moyen d'observer en tout temps les protubérances du Soleil". *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 67, pp. 867-868.
- Energy levels of neutral Helium (He I)* (2005), in Sansonetti J.E., Martin W.C., Young S.L., *Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data* (version 1.1.2). [online]. URL: <<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/heliumtable5.htm>> [data di accesso: 11/02/2019].
- Janssen P. (1868). "Indication de quelques-uns des résultats obtenus à Cocanada, pendant l'éclipse du mois d'août dernier, et à la suite de cette éclipse". *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 67, pp. 838-839.
- Kragh H. (2009). "The Solar Element. A Reconsideration of Helium's Early History". *Annals of Science*, 66 (2), pp. 157-182.
- Lockyer J.N. (1896). "The story of Helium". *Nature*, 53, pp. 319-322.
- Miao M. (2017). "Helium chemistry. React with nobility". *Nature Chemistry*, 9, pp. 409-410.
- Nasini R., Anderlini F. (1906). "Osservazioni spettroscopiche ad altissime temperature". *Gazzetta chimica italiana*, 36, pp. 561-570.
- Nasini R., Anderlini F. (1904). "Esame spettroscopico col metodo del Bunsen di prodotti vulcanici". *Atti della Reale accademia dei Lincei. Rendiconti. Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali*, 13 (1), pp. 368-371.
- Nath B.B. (2013). *The Story of Helium and the Birth of Astrophysics*. Springer: New York.
- Palmieri L. (1895). "A proposito della riga dell'Helium apparsa nello spettro di una sublimazione vesuviana nel 1881, ed ora riveduta da Ramsay e da Clève nella Clefite o Clefrite". *Rendiconto R. Accademia delle scienze fisiche e matematiche*, 1, pp. 121-122.
- Palmieri L. (1881). "La riga dell'Helium apparsa in una recente sublimazione vesuviana". *Rendiconto R. Accademia delle scienze fisiche e matematiche*, 20, p. 233.
- Palmieri L. (1873). "Indagini spettroscopiche sulle sublimazioni vesuviane". *Rendiconto R. Accademia delle scienze fisiche e matematiche*, 12, pp. 47-48.
- Piutti A. (1911). "Ricerche sull'elio". *Memorie della R. Accademia dei Lincei. Classe delle Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali*, 8 (10), pp. 457-487.
- Ramsay W. (1895a). "On a gas showing the spectrum of Helium, the reputed cause of D₃, one of the lines in the coronal spectrum. Preliminary note". *Proceedings of the Royal society of London*, 58, pp. 65-67.
- Ramsay W. (1895b). "Helium, a gaseous constituent of certain minerals. Part I". *Proceedings of the Royal society of London*, 58, pp. 80-89.
- Romeo G. (2016). "Startup scopre giacimento di elio. Il progresso è salvo", *Il Sole 24 Ore*, 544, 31 luglio, pp.12-13.
- Sample I. (2016). "Huge helium gas find in east Africa averts medical shortage", *The Guardian*, 28 June.
- Schettino E. (2014). *Palmieri Luigi* in *Dizionario Biografico degli italiani* [online]. URL: <http://www.treccani.it/enciclopedia/luigi-palmieri_%28Dizionario-biografico%29/> [data di accesso: 11/02/2019].

- Seibel C.W. (1968). *Helium Child of the Sun*, Lawrence: University Press of Kansas.
- Taddia M. (2000). “La figura e l’opera di Robert Bunsen”. *La Chimica e l’Industria*, 82, pp. 451-457.
- Thomsen, H.P.J. (1898). “Über die Abtrennung von Helium aus einer natürlichen Verbindung unter Licht- und Wärmeentwicklung”. *Zeitschrift für physikalische chemie*, 25, pp. 112-114.
- Young C. (1896). “Helium, its identification and properties”. *Popular Science Monthly*, 48 (21), pp. 339-342.