

Le sorgenti luminose artificiali della Collezione Storica degli Strumenti di Fisica dell'Università di Palermo

Maria Rosalia Carotenuto

Giuseppe Sancataldo

Aurelio Agliolo Gallitto

Dipartimento di Fisica e Chimica - Emilio Segrè, Università degli Studi di Palermo, Via Archirafi, 36. I-90123 Palermo.
E-mail: mariarosalia.carotenuto@unipa.it; giuseppe.sancataldo@unipa.it; aurelio.agliologallitto@unipa.it

RIASSUNTO

Nell'articolo presentiamo alcuni strumenti d'interesse storico-scientifico, appartenenti alla Collezione Storica degli Strumenti di Fisica dell'Università di Palermo, riguardanti le sorgenti luminose artificiali usati per la didattica e la ricerca in fisica a partire dal XIX secolo. Dopo un'introduzione sullo sviluppo storico delle sorgenti luminose artificiali e il loro principio di funzionamento, descriviamo le caratteristiche fisiche di alcuni strumenti della Collezione più rappresentativi.

Parole chiave:

strumenti di ottica, sorgenti artificiali di luce, storia della fisica, museo di fisica, patrimonio scientifico e tecnologico.

ABSTRACT

The artificial light sources of the Historical Collection of Physics Instruments of the University of Palermo

In the article we present some historical scientific instruments of the Historical Collection of Physics Instruments of the University of Palermo. We will focus on the artificial light sources used for teaching and research in physics since the 19th century. After an introduction on the historical development of artificial light sources and their operating principle, we describe the physical characteristics of some of the most representative instruments in the collection.

Key words:

instruments of optics, artificial light sources, history of physics, museum of physics, scientific and technological heritage.

INTRODUZIONE

La Collezione Storica degli Strumenti di Fisica dell'Università di Palermo, esposta presso il Dipartimento di Fisica e Chimica - Emilio Segrè, nell'edificio storico di Via Archirafi 36, comprende più di cinquecento strumenti scientifici di interesse storico, dall'inizio del XIX secolo fino alla metà del XX secolo (Nastasi, 1998; Sear, 2017; Agliolo Gallitto et al., 2018).

Un notevole incremento della dotazione strumentale si ebbe in seguito all'assegnazione della cattedra di Fisica Sperimentale nel 1811 all'abate Domenico Scinà (1764-1837). Fu proprio Scinà, infatti, a chiedere all'Università di Palermo di acquistare strumenti di fisica, principalmente per fornire un sussidio didattico-dimostrativo alle lezioni in aula (Nastasi, 1998). A questi primi strumenti didattici, si affiancarono successivamente anche strumenti di ricerca. Nel 1863, con l'arrivo a Palermo del giovane Pietro Blaserna (1836-1918), si ebbe un nuovo impulso con l'acquisto di un gran numero di nuovi strumenti dalle più importanti case costruttrici europee.

La Collezione oggi comprende strumenti di meccanica, acustica, calorimetria, elettromagnetismo, elettrotecnica, ottica, spettroscopia e fisica moderna – descritti nel sito web della Collezione (v. sito web 1) – a testimonianza degli interessi prevalenti della ricerca scientifica condotta a Palermo. Nel presente articolo descriviamo alcuni strumenti di particolare interesse riguardanti le sorgenti luminose artificiali, usati per la didattica e la ricerca in fisica a partire dal XIX secolo.

SORGENTI LUMINOSE A COMBUSTIONE

Lampade a candela

Dall'acquisizione della capacità di controllare il fuoco, la cosiddetta domesticazione del fuoco, avvenuta circa un milione di anni fa (Goudsblom, 1994), l'uomo si è impegnato nella ricerca di fonti di luce sempre più luminose per l'illuminazione che ha costituito un importante fattore di aggregazione e di evoluzione culturale delle popolazioni primitive.

Gli antichi Egizi realizzavano sorgenti luminose immergendo canne nel grasso animale, creando in questo modo una specie di "candela" (v. sito web 2). In seguito, gli antichi Romani, intorno al 500 a.C., svilupparono una vera e propria candela a "stoppino", anche se probabilmente la stessa invenzione fu fatta in altre parti del mondo: un cordoncino di canapa veniva immerso nel sego prodotto con grasso animale (principalmente, di bovini e ovini); il cattivo odore prodotto da tali candele favorì la diffusione di quelle più costose a base di cera d'api. Dopo la caduta dell'Impero romano, la candela divenne il principale strumento di illuminazione a causa della drastica riduzione della disponibilità in commercio dell'olio d'oliva come combustibile per l'alimentazione delle lampade a olio.

La diffusione della candela nei Paesi del nord Europa si ebbe grazie alla disponibilità dell'abbondante grasso di balena (v. sito web 2). Lo spermaceti, un olio presente nel capo dei capodogli, infatti, costituiva un ottimo sostituto del sego, in quanto più abbondante in natura, non produceva odori sgradevoli durante la combustione e le candele così prodotte risplendevano di una luce più intensa. L'illuminazione con candele si diffuse rapidamente in tutta l'Europa settentrionale e meno nei Paesi mediterranei dove l'abbondanza e il basso costo dell'olio d'oliva non rendevano ancora vantaggioso il loro impiego.

Intorno all'XI secolo, in Francia comparve la prima società di fabbricanti di candele, noti come candelai, mentre in Inghilterra la fabbricazione di candele all'interno delle corporazioni fu avviata verso il XIII secolo. Per tutto il Medioevo, la candela fu il principale mezzo di illuminazione.

La produzione industriale di candele iniziò verso la metà del XIX secolo con la scoperta della stearina, ottenuta dalla saponificazione di grassi vegetali o animali. In particolare, con l'avvento dell'industria petrolifera, intorno al 1830 si iniziò a produrre un distillato del petrolio, la paraffina, che costituisce ancora oggi la principale base per la preparazione delle candele, per i molteplici vantaggi: basso costo, nessun residuo e nessun cattivo odore. Tuttavia, con l'affermarsi di nuove tecniche di illuminazione come le lampade a gas e le lampade a incandescenza, le candele ebbero un rapidissimo declino.

In ambito scientifico, la lanterna a candela veniva usata nel XIX secolo come sorgente luminosa in esperimenti di ottica e per la lettura dell'angolo di rotazione dell'equipaggio mobile degli strumenti a specchio, infatti spesso la si trova abbinata a un dispositivo portascala. Nella figura 1 è mostrata una lanterna a candela con specchio parabolico usata come sorgente luminosa. La luce della candela posizionata nel fuoco dello specchio parabolico viene riflessa nella direzione dell'asse del paraboloide con fronte d'onda piano; lo specchio parabolico converte il fronte d'onda del fascio luminoso da sferico a pia-



Fig. 1. Lanterna a candela, con specchio

parabolico di rame argentato, fine XIX secolo, usata come sorgente luminosa in esperimenti di ottica (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

no. Nel sostegno della lanterna è presente una ghiera che permette di regolare l'altezza, mentre una molla interna al sostegno spinge la candela verso l'alto via via che essa si consuma facendo sì che la fiamma si trovi sempre nel fuoco dello specchio parabolico. Nel Catalogo Carpentier del 1907 è riportato: "Lanterne porte-bougie pour échelle transparente avec réglage de la hauteur" (Carpentier, 1907).

Lampade a olio

Presso gli antichi Egizi fece comparsa la lampada a olio, detta lucerna, formata da un recipiente di terracotta per il combustibile e uno stoppino in fibra tessile che si imbeveva di olio per capillarità permettendone così la combustione. La lucerna si diffuse dapprima in Oriente e poi in Occidente. I Romani illuminavano la facciata delle loro case con lucerne e avevano servitori speciali che se ne prendevano cura. Nella figura 2 sono mostrate delle lucerne di terracotta risalenti al IV-VI sec. a.C. e una di bronzo risalente al III sec. d.C., esposte presso il Museo archeologico regionale Antonino Salinas di Palermo. Il potere illuminante delle lucerne era molto scarso, presentando il duplice svantaggio di essere poco economiche, rispetto alla quantità di olio combustibile impiegato, e di produrre una luce di colore rossastro, costantemente accompagnata da un alone di fumo nero. Tuttavia, questo sistema di illuminazione si diffuse tra tutti i popoli della Terra e giunse pressoché invariato fino al Medioevo.

Un primo miglioramento fu proposto da Gerolamo Cardano (1501-1576) intorno al 1550, che introdusse un recipiente laterale per l'olio, con un piccolo foro



a



b

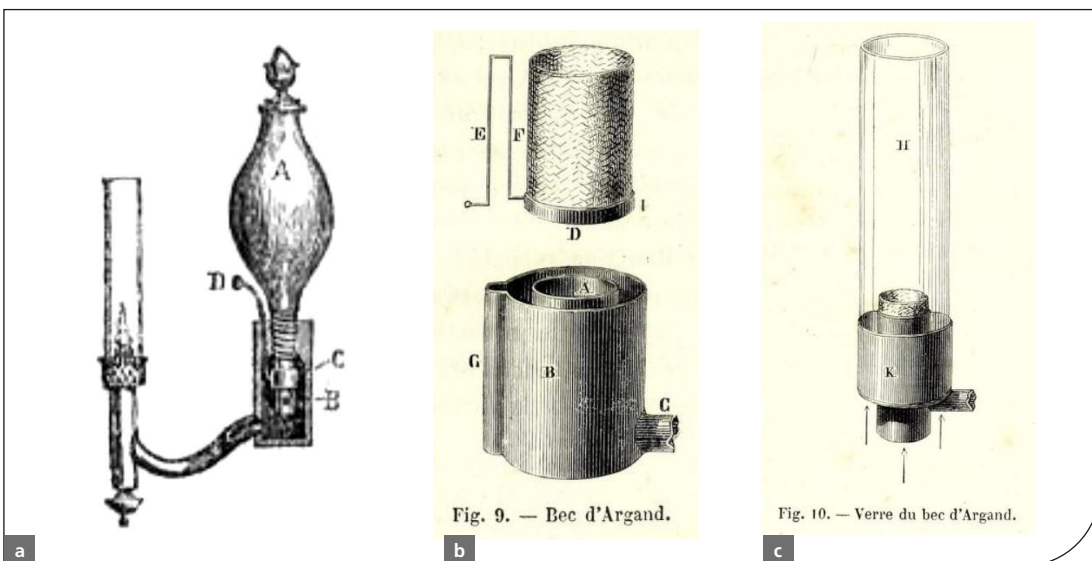
Fig. 2. Lucerne esposte presso il Museo archeologico regionale Antonino Salinas di Palermo: a) lucerne di terracotta risalenti al IV-VI sec. a.C.; b) lucerna di bronzo risalente al III sec. d.C.

posto un po' al disotto del livello dell'olio nella lampada; quando il foro restava scoperto, l'olio defluiva dal recipiente alla lampada mantenendo costante il livello dell'olio nella lampada.

Col trascorrere del tempo, le candele e le lampade a olio iniziarono a essere sorrette da un manicotto metallico, provvisto di una lama cornea trasparente: nasceva in questo modo la lanterna portatile. Intorno al 1780, il fisico e chimico svizzero François-Pierre-

Amédée Argand (Ami Argand, 1750-1803) realizzò una lampada a olio a doppia corrente d'aria, nota con il nome di lampada d'Argand e schematizzata nella figura 3 (Rodriguez, 1858; Figuier, 1870; v. sito web 3). Per mantenere il livello dell'olio all'incirca alla stessa altezza dello stoppino il recipiente A, riempito di olio, è posto più in alto dello stoppino; nella parte inferiore, il recipiente ha un foro, B, la cui apertura può essere regolata con un anello scorrevole, C, per mezzo di uno stelo, D, come illustrato nella figura 3a. In questa lampada l'antico becco della lucerna veniva sostituito da un nuovo becco, costituito da due piccoli cilindri metallici concentrici, A e B, tra i quali scorre uno stoppino di cotone di forma tubolare, e da un tubo di vetro cilindrico, come illustrato nella figura 3b. L'intervallo che separa i due cilindri metallici è chiuso inferiormente e comunica mediante un tubo C con il serbatoio dell'olio. Nello spazio che separa questi due cilindri è posto lo stoppino. La circonferenza inferiore di questo stoppino, D, è fissata in un anello metallico, I, attaccato a un'asta, E F, che si trova nella slitta G e ha lo scopo di alzare o abbassare lo stoppino. Un cilindro di vetro, H, disposto verticalmente, il cui diametro è maggiore di quello dell'involucro esterno dello stoppino, è sostenuto dal cilindro K, che è fissato al beccuccio, come illustrato nella figura 3c. In questo modo, la fiamma è circolare e le sue due superfici, interna ed esterna, ricevono ciascuna una corrente d'aria grazie al camino di vetro che si estende oltre la fiamma. Le diverse parti della fiamma, irradiandosi reciprocamente, si riscaldano a vicenda, aumentando la temperatura, producendo quindi una luce più bianca.

La lampada d'Argand introdusse un grande miglioramento rispetto alle tradizionali lucerne e lampade a candela, in quanto produceva una luce più intensa, più bianca e più stabile, ideale per essere usata



a

Fig. 9. — Bec d'Argand.

b

Fig. 10. — Verre du bec d'Argand.

c

Fig. 3. Lampada d'Argand: a) schema d'insieme (da: Rodriguez, 1858); b) stoppino tubolare (da: Figuier, 1870); c) camino di vetro (da: Figuier, 1870).

per esperimenti scientifici in laboratorio. Essa fu, ad esempio, ampiamente usata dai chimici per riscaldare energicamente i crogioli di platino ed effettuare tutte le calcinazioni.

La lampada d'Argand e la lampada nota con il nome di lampada Locatelli, una lampada a olio con sistema di alimentazione dello stoppino a flusso costante, con la fiamma posta nel fuoco di uno specchio concavo metallico argentato (fig. 4), furono usate dal fisico italiano Macedonio Melloni (1798-1854) in un apparato messo a punto nella prima metà del XIX secolo per condurre esperimenti riguardanti il "calorico raggianti" (espressione con la quale veniva indicata la radiazione infrarossa).

L'apparato del Melloni è composto da una guida di ottone, sulla quale è incisa una scala graduata, fissata su una base in legno montata su quattro viti calanti (Ganot, 1863; Agliolo Gallitto et al., 2016). La sorgente di calore, il rivelatore (termopila) e i vari componenti ottici sono disposti sulla guida con dei cavalieri scorrevoli. I manuali di fisica dell'Ottocento riportano vari esperimenti che possono essere realizzati con l'apparato del Melloni, come l'esperimento sulla propagazione rettilinea del calore o la verifica della legge dell'inverso del quadrato delle distanze, per dimostrare l'analogia tra luce e calore (Ganot, 1863).

Dalla consultazione dei documenti di archivio risulta che l'apparato del Melloni della Collezione, di cui fa parte la lampada Locatelli di figura 4, fu acquistato nel 1850 dalle officine Ruhmkorff di Parigi, per scopi didattici. Infatti, Nastasi (1998) riporta che nel 1847 fu ordinata "l'ormai famosa termopila di Melloni", in seguito alle lamentele circa l'esiguità della dotazione da parte degli studenti per potersi mettere in qualche modo al corrente dello stato attuale della scienza. Nel registro d'inventario Lo Cicero del 1857-1859, Inv. n. 184 del 1850, risulta: "Un apparecchio del calorico raggianti di Melloni completo. È composto da sei scremaglie, da una pila termo-elettrica, da due lampade Locatelli, da un compasso magnetico, da un meccanismo per la riflessione del calorico, da una grossa lente convessa con sua montatura di rame per la refrazione del calorico, da un cubo di rame vuoto per la emissione del calorico raggianti, da un cono di rame per avvitarsi alla pila termo-elettrica, da due cerchi di rame cui sono avvitati due cristalli piani, da tre specchi uno metallico, un altro di rame inargentato, il terzo di ossidiano, i sopradetti specchi sono uniti dalle rispettive montature, da una lente convessa di salgemma, e da un prisma ancor di salgemma".

Lampade a gas

L'uso del gas naturale ebbe inizio in Cina nel 900 a.C.; intorno al 500 a.C., il gas veniva trasportato con tubi di bambù e usato per illuminare le strade dei villaggi dell'antica Cina (v. siti web 4 e 5). Tuttavia, solo nel XIX secolo l'illuminazione a gas sostituì le lampade a candela e le lampade a olio.

In ambito scientifico, il bruciatore a gas come strumento di laboratorio fu proposto per la prima volta dal chimico e fisico inglese Michael Faraday (1791-1867) all'inizio del XIX secolo. Più tardi, nel 1857, il chimico tedesco Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) descrisse

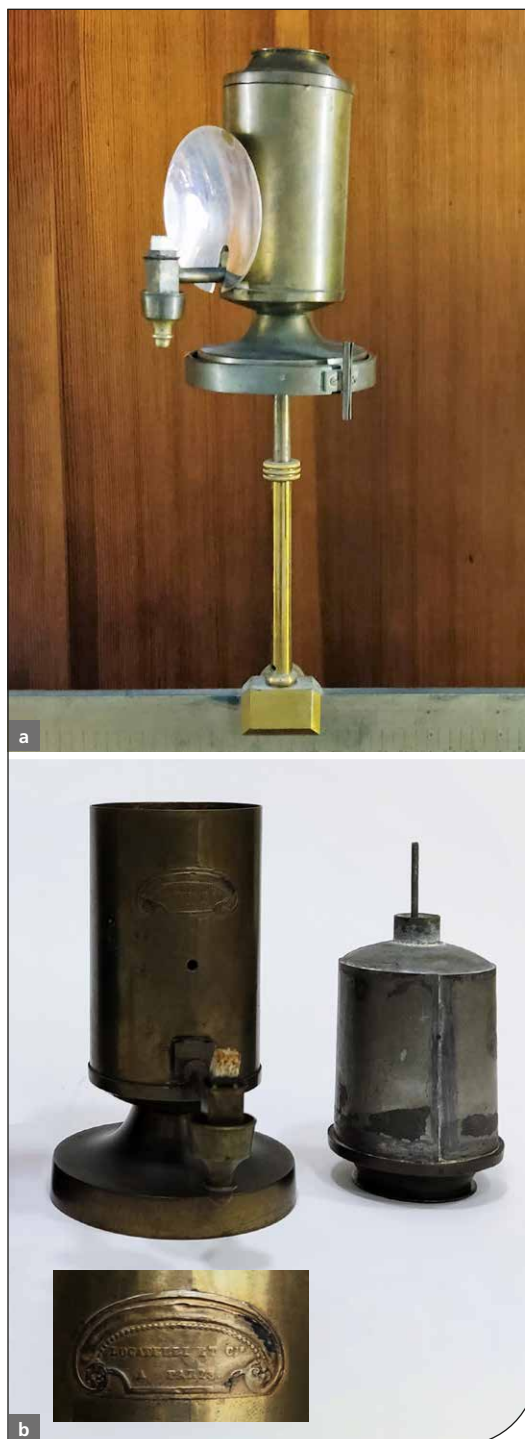


Fig. 4. Lampada Locatelli:

a) lampada dell'apparato del Melloni acquistato nel 1850 dalle officine Ruhmkorff di Parigi; b) particolari della lampada e logo Locatelli (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

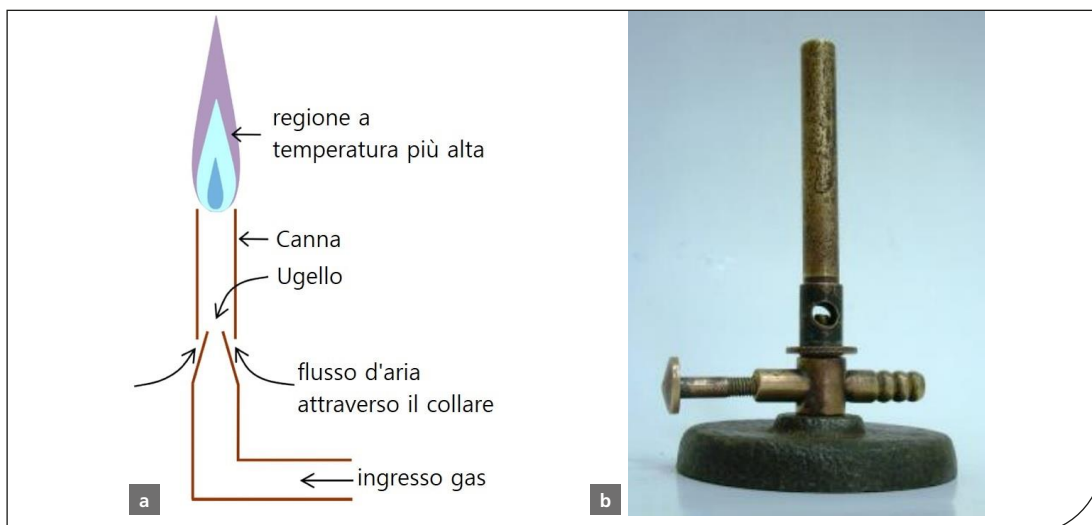


Fig. 5. Bruciatore Bunsen: a) schema; b) bruciatore Bunsen con valvola a spillo per la regolazione del flusso del gas, fine XIX secolo (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

il bruciatore, che oggi porta il suo nome, capace di generare una fiamma incolore e priva di fuliggine (Kohn, 1950; Jensen, 2005; Agliolo Gallitto et al., 2017). Il bruciatore di Bunsen si basa sul cosiddetto effetto Venturi, dal nome del fisico italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822), per l'aspirazione dell'aria necessaria alla combustione del gas (Agliolo Gallitto et al., 2017; Agliolo Gallitto et al., 2021). Il suo schema

è mostrato nella figura 5a. Quando il gas attraversa l'ugello, la sua velocità aumenta, mentre la sua pressione diminuisce. A causa della bassa pressione si genera una corrente d'aria dall'esterno verso l'interno attraverso i fori laterali del collare forato girevole posto alla base del tubo verticale (canna). L'ingresso dell'aria viene regolato ruotando il collare girevole, che apre o chiude i fori alla base, mentre il flusso del gas viene regolato dal rubinetto nel tubo di ingresso del gas, alla base del bruciatore.

La struttura della fiamma prodotta da questo tipo di bruciatore, descritta dallo stesso Bunsen, è costituita da due parti: un cono blu interno, con una punta blu luminosa, costituito da gas solo parzialmente bruciato, a causa di un minor contenuto d'aria nella miscela gassosa; una fiamma esterna non luminosa, quasi invisibile, costituita da gas completamente bruciato per l'ottimale contenuto d'aria nella miscela gassosa. Per l'analisi chimica, il campione posto su un filo di platino viene portato nella zona più calda della fiamma che assumerà il colore caratteristico dell'elemento chimico presente nel campione (Jensen, 2014; Agliolo Gallitto et al., 2017; Agliolo Gallitto et al., 2021). Fin dalla sua invenzione, il bruciatore Bunsen è stato utilizzato per effettuare esperimenti con gli spettroscopi. Nella figura 6 è mostrata una tavola degli spettri osservati da Kirchhoff e Bunsen nel 1860 (Kirchhoff & Bunsen, 1860; Jensen, 2014). Nei laboratori di chimica, oggi il bruciatore Bunsen viene abitualmente utilizzato per una rapida identificazione di elementi chimici mediante la tecnica dei saggi alla fiamma, che consiste nel portare la sostanza, posta su un filo di platino o di nichel-cromo, al centro della fiamma e nell'osservare il colore della fiamma risultante. Lo sviluppo storico dell'analisi degli elementi chimici attraverso i colori della fiamma è descritto in Jensen (2014).

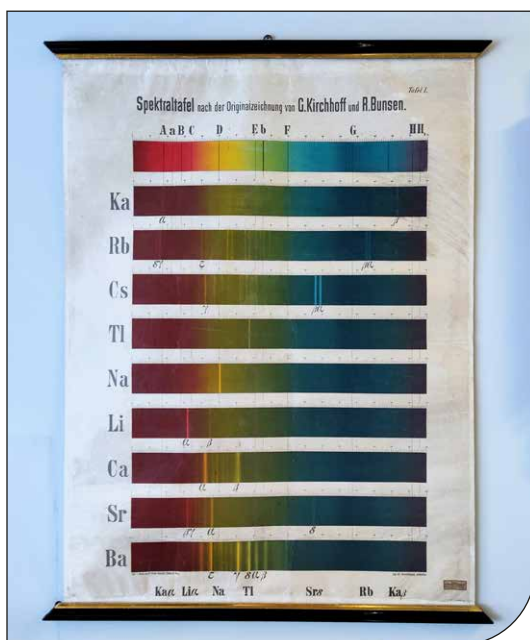


Fig. 6. Tavola degli spettri, basata sul disegno originale di Kirchhoff e Bunsen (Kirchhoff & Bunsen, 1860). Nello spettro del Sole sono indicate le maggiori righe di Fraunhofer indicate come A, a, B, C, D, E, b, F, G, H e H1 (la tavola, 70 × 100 cm, di fine Ottocento, è stata recentemente restaurata nell'ambito delle attività del CdL in Conservazione e Restauro dei Beni Culturali dell'Università di Palermo).

LAMPADE ELETTRICHE

Lampade ad arco

Con lo sviluppo dell'elettricità, all'inizio del XIX secolo furono ideate sorgenti di luce generata da una scarica elettrica tra due elettrodi. Nel 1808 il chimico inglese Sir Humphry Davy (1778-1829) creò la prima lampada ad arco con elettrodi di carbone in aria alimentata da una batteria di pile voltaiche (fig. 7). Sebbene questa lampada fosse molto luminosa, le pile usate per l'alimentazione si scaricavano rapidamente (Privat Deschanel, 1872).

Da allora i fenomeni di scarica elettrica furono studiati e sviluppati per generare luce dall'elettricità. Molti miglioramenti furono apportati negli anni successivi, soprattutto nella preparazione degli elettrodi di carbone ma anche nei generatori elettrici, tanto che la lampada ad arco fu la prima sorgente di luce elettrica artificiale commercializzata e ampiamente

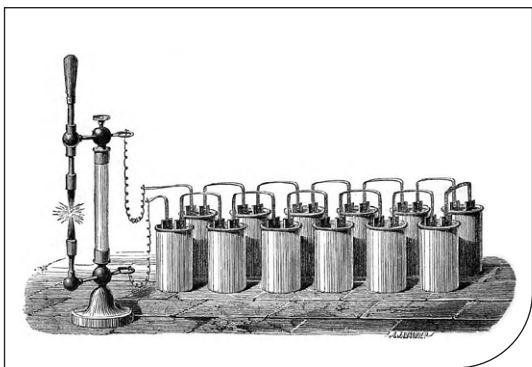


Fig. 7. Riproduzione dell'invenzione della lampada ad arco voltaico da parte del chimico inglese Sir Humphry Davy (1778-1829) intorno al 1808; Davy usò una batteria di 3000 celle elettrolitiche per produrre un arco voltaico tra elettrodi di carbone (Privat Deschanel, 1872).

utilizzata; essa fu usata per l'illuminazione di strade e palazzi dalla seconda metà del XIX secolo fino all'inizio del XX secolo circa, quando fu rimpiazzata dalle lampade elettriche a incandescenza. In seguito, le lampade ad arco furono usate per scopi specifici per l'intensa luce prodotta, come ad esempio sorgenti luminose per lanterne magiche o per proiettori cinematografici (v. sito web 3), sin dopo la Seconda Guerra Mondiale. La lampada ad arco è ormai obsoleta per la maggior parte di questi scopi, ma è ancora utilizzata come fonte di luce ultravioletta ad alta intensità. Una lampada ad arco dell'inizio del XX secolo con elettrodi di carbone disposti perpendicolarmente, appartenente alla Collezione, è mostrata nella figura 8.

Lampade a incandescenza

Il passaggio della corrente elettrica nei conduttori ha effetti termici. Sfruttando questo effetto, nel 1801 Davy portò all'incandescenza delle strisce di platino riscaldate all'aria aperta. La ricerca di sorgenti luminose basate sugli effetti termici della corrente elettrica condusse al primo brevetto della lampada a incandescenza, rilasciato nel 1841 a Frederick de Moleyns: la sua lampada era composta da un filamento di carbone tra due fili di platino posti all'interno di un bulbo di vetro con un vuoto parziale al suo interno (Anderson, 1990). Un altro brevetto per la lampada a incandescenza con un filamento di carbone fu rilasciato nel 1874 ai canadesi Henry Woodward e Mathew Evans (v. siti web 6 e 7), in seguito acquistato dall'inventore americano Thomas Alva Edison (1847-1931).

Una più efficiente lampada a filamento di carbone fu sviluppata indipendentemente dal fisico e chimico inglese Sir Joseph Wilson Swan (1828-1914) e da Edison intorno al 1878. Edison testò molti differenti

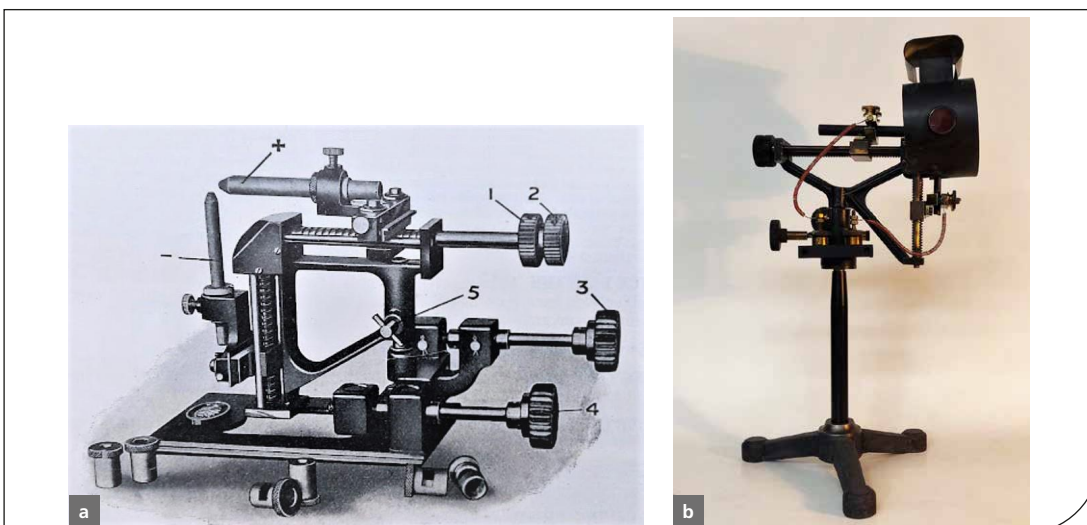


Fig. 8. Lampada ad arco: a) illustrazione di una lampada ad arco con elettrodi di carbone disposti perpendicolarmente; b) lampada ad arco, inizio XX secolo (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).



Fig. 9. Lampade a incandescenza con varie tipologie di supporti (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

materiali per realizzare un filamento carbonizzato più efficiente, osservando che una lampada con un filamento di bambù carbonizzato poteva durare fino a 1200 ore. Nel 1880 entrambi avevano richiesto i brevetti per le loro lampade a incandescenza, e il conseguente contenzioso tra i due fu risolto con la costituzione nel 1883 di una società mista, la Edison and Swan Electric Light Company. Edison precedette di pochi mesi il tecnologo italiano Alessandro Cruto (1847-1908), il quale aveva sviluppato una lampadina a incandescenza a filamento di carbone la cui durata superava di molto quella delle lampadine di Edison (v. sito web 8).

Sebbene Edison non abbia ideato la prima lampada a incandescenza, egli si occupò dello sviluppo delle linee elettriche e delle altre apparecchiature necessarie per integrare la lampada a incandescenza in un pratico sistema di illuminazione. La sua "lampada Edison avvitabile" è ancora oggi lo standard per le lampade per illuminazione domestica, come l'attacco a vite E14, con diametro di 14 mm, e l'attacco E27, con diametro di 27 mm.

Le lampade a filamento di tungsteno furono sviluppate nel 1911 dal fisico americano William David Coolidge (1873-1975). Queste lampade furono migliorate nel 1913 dal fisico e chimico americano Irving

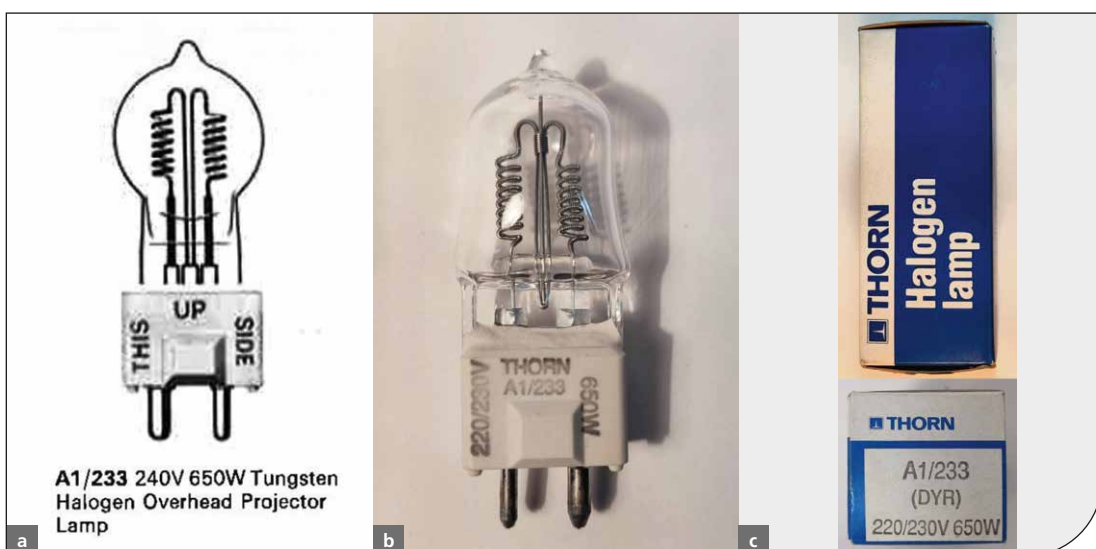


Fig. 10. Lampada alogena: a) dal Catalogo della Thorn Lighting Ltd. del 1971/72; b) lampada alogena Thorn modello A1/233 (DYR), 220/230 V, 650 W; c) confezione originale (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

Langmuir (1881-1957), il quale scoprì che riempire l'involucro di vetro con un gas inerte e torcere il filamento migliorava le prestazioni della lampada. Fino al 1925 tutte le lampade erano in vetro trasparente. Il chimico americano Marvin Pipkin (1889-1977) ideò un modo per ridurre il bagliore prodotto dal filamento. Pipkin aggiunse un rivestimento di silice all'interno del bulbo di vetro, realizzando così le prime lampade a incandescenza satinata. Nella figura 9 sono mostrate alcune lampade a incandescenza della Collezione, con varie tipologie di supporti. Una dettagliata descrizione dello sviluppo storico delle lampade a incandescenza si può trovare in Anderson (1990) e nel sito web 9.

Lampade alogene

Intorno al 1950 fu realizzata la prima lampada a incandescenza alogena (fig. 10), avente un'elevata efficienza luminosa, grazie al gas alogeno (iodio e a volte bromo, integrato con un gas nobile) contenuto nel bulbo, che permette il riscaldamento del filamento fino a oltre 3000 K. Il tungsteno che sublima a causa della temperatura elevata reagisce con il gas alogeno formando un alogenuro di tungsteno. Successivamente, il composto entrando in contatto con il filamento incandescente si decompone e rideposita il tungsteno sul filamento stesso realizzando il cosiddetto ciclo alogeno. In questo modo la durata di vita di una lampada alogena può essere molto maggiore di quella di una lampadina a incandescenza normale, sebbene il filamento raggiunga temperature più elevate. Poiché il filamento, per permettere la reazione chimica tra il tungsteno e lo iodio, deve essere mantenuto a una temperatura di circa 3000 K, il bulbo viene realizzato con quarzo fuso, in grado di resistere alle più alte temperature e anche alle alte pressioni. Il ciclo alogeno esegue un'azione di "autopulizia" sulla superficie interna del bulbo, evitandone l'annerimento e consentendo di mantenere quindi un flusso luminoso invariato nel tempo. Per ridurre il flusso di raggi ultravioletti, viene posta davanti al bulbo una lastra di vetro, mentre per ridurre il flusso di raggi infrarossi viene posto dietro al bulbo uno specchio diecrico che riflette solamente la luce visibile lasciando disperdere i raggi infrarossi.

TUBI A SCARICA IN GAS RAREFATTI

La storia delle lampade a scarica elettrica nel vuoto, o meglio in aria rarefatta, ebbe inizio nel 1675 quando l'astronomo francese Jean Picard (1620-1682), mentre trasportava un barometro a mercurio, osservò nella regione di spazio vuoto al di sopra del mercurio dei bagliori (Peruzzi & Talas, 2004). Johann Bernoulli (1667-1748) mostrò che questa luce era legata al moto del mercurio, da cui deriva il nome di "fosforo mercuriale". In seguito a questa scoperta, nel 1705 il

fisico inglese Francis Hauksbee (1660-1713) dimostrò che si potevano generare fenomeni luminosi in una sfera di vetro, da cui veniva pompata l'aria, grazie a una nuova pompa pneumatica a due pistoni da lui inventata, ma con un po' di mercurio all'interno di essa (Hauksbee, 1709; Peruzzi & Talas, 2004). Facendo ruotare la sfera molto rapidamente e generando elettricità statica per strofinio, si potevano osservare dei bagliori. Hauksbee scoprì che il mercurio non è affatto indispensabile per ottenere i bagliori: strofinando infatti in aria rarefatta corpi vari, come l'ambra o il vetro, con un panno di lana si ottenevano gli stessi effetti luminosi.

Nel 1748, Sir William Watson (1715-1787), utilizzando una macchina elettrostatica e una pompa a vuoto, effettuò la prima scarica elettrica a bagliore in un tubo di vetro, oltre a fornire la prima dimostrazione del passaggio di elettricità nel "vuoto". In seguito, il fisico italiano, naturalizzato inglese, Tiberius Cavallo (1749-1809) descrisse il fenomeno dell'emissione di luce nel trattato "A complete treatise of electricity in theory and practice: with original experiments", pubblicato nel 1777 a Londra, usando uno strumento che può essere considerato il predecessore del cosiddetto "uovo elettrico", ampiamente usato nei decenni successivi per indagare questi fenomeni luminosi.

In seguito agli studi sui fenomeni di scarica elettrica in differenti gas rarefatti condotti dal fisico e chimico inglese Michael Faraday (1791-1867) intorno al 1838, aumentò l'interesse scientifico verso questo tipo di sorgenti luminose artificiali. Diversi esperimenti convincono la comunità scientifica che i bagliori sono di natura elettrica, ossia scariche elettriche in gas rarefatti. Il soffiatore di vetro Heinrich Geissler (1814-1879), utilizzando la sua nuova pompa da vuoto a mercurio, nel 1856 riesce a costruire piccoli tubi di vetro contenenti miscele di gas rarefatti, con svariate forme e colori, noti come tubi di Geissler, alcuni illustrati nella figura 11. Uno dei primi ricercatori a condurre esperimenti scientifici con i tubi di Geissler fu Julius Plücker (1801-1868), che descrisse nel 1858 gli effetti luminescenti che si verificavano in questi tubi. Plücker e Geissler iniziarono studi sistematici di scariche elettriche in tubi di vetro riempiti di gas puri a bassa pressione nei cosiddetti tubi di Plücker. La figura 12 mostra una serie di tubi di Plücker della Collezione, costruiti alla fine del XIX secolo. I tubi recano delle etichette con le formule chimiche dei gas che essi contengono (SO_2 - Ether - N - SnCl_4 - Br - H_2O - alcool - CO - Sn - Cl_4 - F - Si - CO_2 - C_2H_2). Essi erano usati probabilmente per le osservazioni delle righe spettrali con lo spettroscopio.

Nel 1859, Robert W. Bunsen (1811-1899) e Gustav Kirchhoff (1824-1887) mostrano che ciascun elemento chimico irradia luce avente uno specifico spettro di colori. Nel 1869, Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) stabilisce per la prima volta che i raggi vengono emessi dal catodo e seguono traiettorie rettilinee e

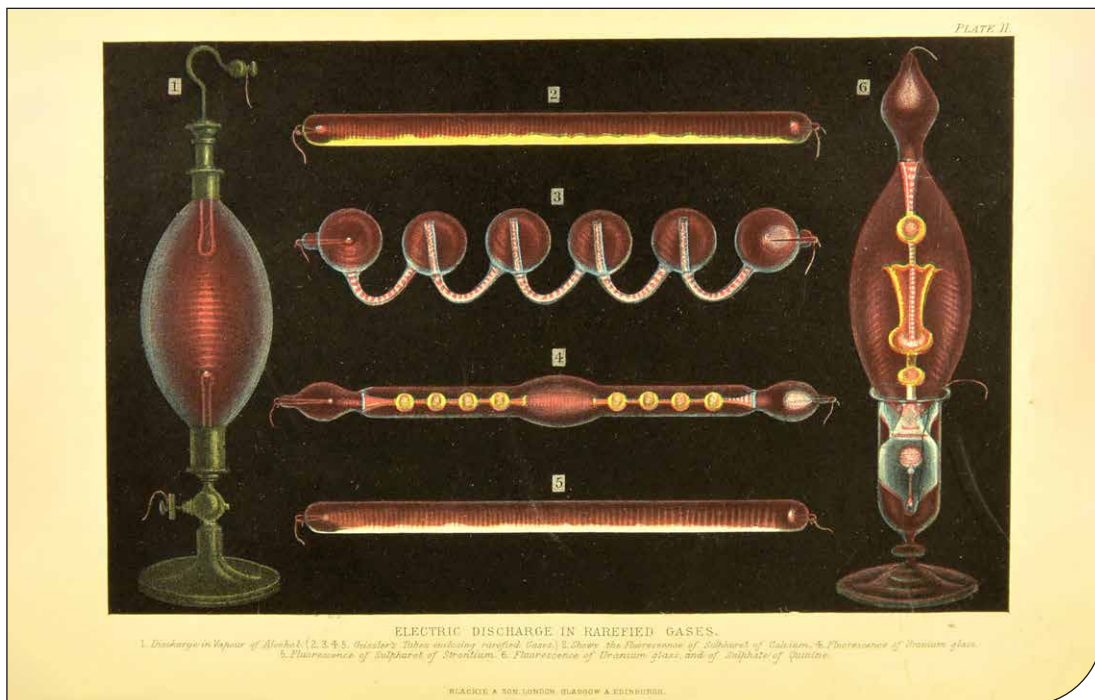


Fig. 11. Illustrazione di alcuni tubi di Geissler (Privat Deschanel, 1872). La scritta in basso riporta:
 "ELECTRIC DISCHARGE IN RAREFIED GASES. 1. Discharge in Vapour of Alcohol (2. 3. 4. 5. Geissler's Tubes enclosing rarefied Gases) 2. Shows the Fluorescence of Sulphuret (Sulphide) of Calcium. 4. Fluorescence of Uranium glass. 5. Fluorescence of Sulphuret of Strontium. 6. Fluorescence of Uranium glass and of Sulphate of Quinine".



Fig. 12. Tubi di Plücker contenenti vari gas, costruiti alla fine del XIX secolo (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

per tale motivo Eugen Goldstein (1850-1930) introduce, nel 1876, l'espressione raggi catodici ancora oggi in uso. Qualche anno dopo, Sir William Crookes (1832-1919) studia le proprietà dei raggi catodici a bassissima pressione con i tubi da lui ideati, detti tubi di Crookes, utilizzando una nuova pompa a vuoto a mercurio altamente efficace realizzata da Hermann Sprengel (1834-1906). I risultati ottenuti portarono Crookes a interpretare i raggi catodici come fasci di particelle, in seguito nel 1897, identificati come elettroni dal fisico inglese Sir Joseph John Thomson (1856-1940).

Lampade a vapori di mercurio e a vapori di sodio

La prima lampada a vapori di mercurio a bassa pressione idonea per l'illuminazione pubblica fu brevettata nel 1901 dall'ingegnere americano Peter Cooper Hewitt (1861-1921) e in seguito prodotta dalla Cooper Hewitt Electric Co. Le prime lampade dovevano essere accese inclinando il tubo per fare contatto tra i due elettrodi e il mercurio liquido (Rubin, 2010). Queste lampade erano utilizzate principalmente per l'illuminazione fotografica e per applicazioni industriali, perché emettevano una più intensa luce rispetto alle lampade a incandescenza dell'epoca. La figura 13 mostra una lampada a vapori di mercurio in vetro di quarzo della Collezione, utilizzata probabilmente come sorgente di luce UV per studi di



Fig. 13. Lampada a vapori di mercurio prodotta dalla Original Hanau, Germania, a partire dal 1920 circa (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

spettroscopia. Questa tipologia di lampade, prodotte dalla Original Hanau (Germania) a partire dal 1920 circa in vetro di quarzo per la produzione di luce UV, è un'evoluzione di quella inventata nel 1904 alla Heraeus in Germania (v. sito web 10).

Intorno al 1930, furono sviluppate le lampade fluorescenti (lampade al mercurio a bassa pressione) in tubi di vetro con rivestimento interno di materiale fluorescente, per convertire la radiazione UV emessa dai vapori di mercurio in luce visibile (Rubin, 2010). Queste lampade vennero in seguito prodotte e commercializzate principalmente dalla General Electric e dalla Philips. Nel 1976 l'ingegnere americano Edward E. Hammer (1931-2012) della General Electric ideò la prima lampada fluorescente compatta a spirale, commercializzata successivamente a partire dal 1995 circa.

L'origine della lampada a vapori di sodio a bassa pressione può essere fatta risalire a un brevetto del 1919 ottenuto da Arthur H. Compton (1892-

1962) durante la sua permanenza alla Westinghouse Electric a Pittsburgh, Pennsylvania. Tuttavia, all'epoca non era disponibile alcun vetro in grado di contenere la scarica elettrica senza deteriorarsi rapidamente alla presenza dei corrosivi vapori di sodio. La Westinghouse rivolse quindi la sua attenzione alla creazione di un bulbo adeguato e l'anno successivo brevettò un vetro borato in grado di resistere meglio agli effetti corrosivi dei vapori di sodio. Queste lampade funzionavano a pressioni inferiori a 1 Pa e producevano uno spettro di luce quasi monocromatico attorno alle linee di emissione del sodio con lunghezza d'onda di 589,00 e 589,56 nanometri. Tali tipi di lampade furono in seguito commercializzati dalla Philips a partire dal 1932 (v. sito web 9). La figura 14 mostra una lampada a vapori di sodio della Collezione, usata probabilmente come sorgente di luce monocromatica per l'osservazione della rotazione dell'asse di polarizzazione di sostanze in soluzione con i polarimetri.

SORGENTI LUMINOSE A STATO SOLIDO: IL LASER E IL LED

Nel 1955, i fisici americani James P. Gordon (1928-2013), Herbert J. Zeiger (1925-2011) e Charles H. Townes (1915-2015) dimostrarono che una radiazione elettromagnetica coerente può essere generata nella gamma delle radiofrequenze mediante il cosiddetto MASER, Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Gordon et al., 1955). Il principio del MASER fu esteso subito dopo al dominio ottico dallo stesso Townes e dal fisico americano Arthur Schawlow (1921-1999), ma anche dai fisici russi Nikolay Basov (1922-2001) e Alexander Prokhorov (1916-2002), ottenendo così il LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Prokhorov, 1958; Schawlow & Townes, 1958). Per il lavoro fondamentale svolto nel campo dell'elettronica quantistica, che ha portato allo sviluppo prima del MASER e poi del LASER, a Basov, Prokhorov e Townes fu assegnato il Premio Nobel per la fisica nel 1964.



Fig. 14. Lampada a vapori di sodio Philips SO 60W TYP. 57004 B/01 prodotta e commercializzata dalla Philips a partire dal 1932; le macchie di colore metallico sono sodio solido (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

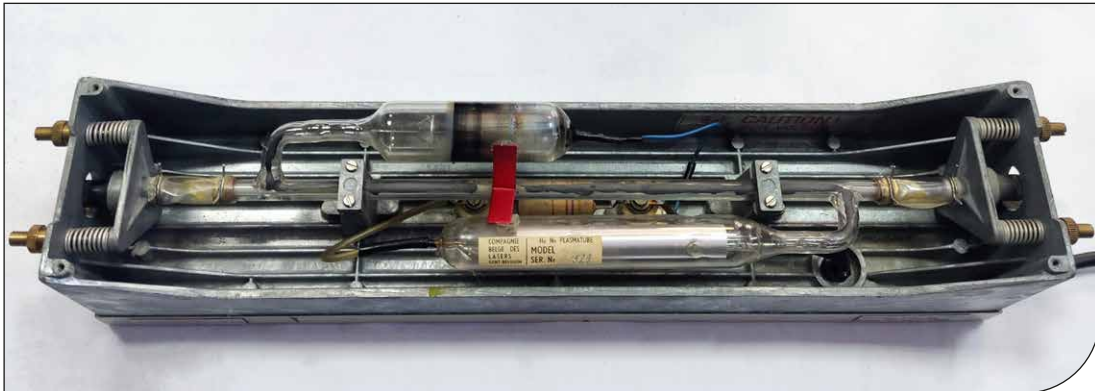


Fig. 15. LASER He-Ne acquistato nel 1971 (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

Il LASER consiste in una sorgente di luce emessa da un insieme di atomi che interagiscono con un campo elettromagnetico all'interno di una cavità ottica risonante (Zubairy, 2016). La cavità supporta solo un insieme specifico di modi risonanti e gli atomi eccitati sono in risonanza con una di queste frequenze della cavità. Un campo elettromagnetico risonante dà origine a un'emissione stimolata e gli atomi trasferiscono la loro energia di eccitazione al campo di

radiazione. Se il livello eccitato è sufficientemente popolato, questa radiazione dà luogo a ulteriori transizioni in altri atomi. In questo modo, tutta l'energia di eccitazione degli atomi viene trasferita a un unico modo del campo di radiazione.

Il primo LASER a onda continua, con una miscela di He-Ne, fu proposto nel 1959 dal fisico iraniano-americano Ali Javan (1926-2016) alla Bell Telephone Laboratories, un centro di ricerca industriale e scientifico nel New Jersey. Un prototipo fu costruito da lui in collaborazione con W.R. Bennett Jr. e Donald R. Herriott (1928-2007), nel 1960 (Javan et al., 1961). Da allora, è stato dimostrato che diversi sistemi possono generare luce LASER in un dominio di frequenza che va dall'infrarosso all'ultravioletto. Con l'invenzione del LASER, si sono avuti grandi progressi che hanno rivoluzionato le tecniche classiche di indagine ottica. Nella figura 15 è mostrato un LASER a He-Ne della Collezione, acquistato nel 1971 dalla Compagnie Belge des LASERS, Gent, Belgio, usato per studi pionieristici di spettroscopia LASER in ambito biofisico.

Nel 1961, gli ingegneri americani James Robert Biard (1931-2022) e Gary Pittman, mentre stavano lavorando su un diodo LASER, dispositivo optoelettronico in grado di emettere un fascio di luce LASER, presso la Texas Instruments a Dallas, in Texas, scoprirono il primo diodo a emissione di luce, il diodo LED (Light-Emitting Diode). I ricercatori osservarono emissione di luce nel vicino infrarosso (900 nm) da un diodo a effetto tunnel che avevano costruito su un substrato di arseniuro di gallio (GaAs). Nel 1962, l'ufficio brevetti statunitense rilasciò ai due ricercatori il brevetto per il "semiconductor radiant diode" a luce infrarossa con semiconduttore di GaAs.

Il primo LED a emissione di luce nello spettro visibile fu sviluppato nel 1962 alla General Electric, New York, dall'ingegnere americano Nick Holonyak Jr. (1928-2022). Subito dopo furono sviluppate le prime luci a LED e furono utilizzate come indicatori e/o visualizzatori. I primi LED commerciali a lun-

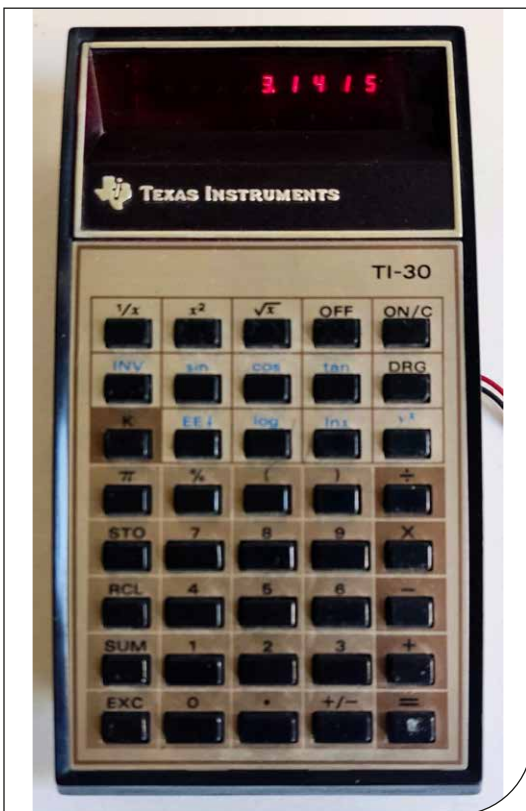


Fig. 16. Calcolatrice a diodi LED a sette segmenti, Texas Instruments TI-30, prodotta dal 1976 al 1983 (Collezione Storica degli Strumenti di Fisica, Università di Palermo).

ghezza d'onda visibile sono stati comunemente usati come sostituti delle lampade a incandescenza e a fluorescenza, nei display a sette segmenti, prima in apparecchi costosi come strumenti di laboratorio ed elettronici, poi in apparecchi come TV, radio, calcolatrici, orologi ecc. (fig. 16).

Molti ricercatori hanno continuato a lavorare sulle tecnologie LED e, nel 1993, l'ingegnere giapponese naturalizzato statunitense Shuji Nakamura ha inventato il LED blu con giunzione p-n al nitruro di gallio (GaN), per il quale è stato insignito del Premio Nobel per la fisica nel 2014, insieme a Isamu Akasaki e Hiroshi Amano, con la seguente motivazione: "per l'invenzione di diodi a luce blu efficienti che ha consentito di ottenere brillanti fonti di luce bianca a risparmio energetico".

Oggi questi diodi vengono utilizzati con diversi fosfori per realizzare lampade efficienti a luce bianca con diverse tonalità, caratterizzate da differenti temperature di colore.

DISCUSSIONE

Ogni sorgente di luce è una sorgente di energia radiante (radiazione luminosa nella banda del visibile). Tutti i corpi emettono continuamente energia radiante, tuttavia le radiazioni luminose (luce visibile) contenute nello spettro di emissione sono estremamente deboli a temperatura ambiente; l'emissione cresce rapidamente con la temperatura. Un modo teoricamente semplice per realizzare una sorgente di luce è dunque quello di fornire calore fino a raggiungere temperature sufficientemente elevate (emissione di luce per temperatura o emissione di corpo nero). Le usuali lampade a combustione (candela, lucerna, lampada a gas ecc.) e quelle elettriche a incandescenza si basano su questo principio. Queste sorgenti emettono luce con uno spettro continuo, che va dal blu ($\lambda \approx 400$ nm) e si estende nell'infrarosso ($\lambda \approx 1000$ nm). La differenza fra luce diurna e luce artificiale consiste nella differente intensità delle radiazioni nell'estremo rosso dello spettro.

Le lampade a fiamma sfruttano la combustione di specifiche sostanze con l'ossigeno dell'aria per generare calore. La combustione dà luogo a una fiamma (formata dalle parti volatili del combustibile e dai prodotti della combustione), la cui temperatura dipende dal calore che si è sviluppato nella combustione. In condizioni normali, la combustione lascia in sospensione particelle di carbonio solido che diventeranno luminose a causa dell'elevata temperatura raggiunta nella fiamma.

Nelle lampade a incandescenza la radiazione luminosa viene generata dal riscaldamento del filamento della lampada, per effetto Joule in seguito al passaggio della corrente elettrica, fino a temperature sufficientemente elevate da renderlo incandescente ed emettere radiazioni luminose.

Nella figura 17 sono mostrati gli spettri normalizzati della luce prodotta da una moderna candela, da un accendino a gas (GPL) e da una lampada a incandescenza. Come si può vedere dalla figura, nei tre casi si osservano spettri di emissione simili. La radiazione luminosa emessa dal Sole, quella emessa dalla fiamma della candela, dalla fiamma di un accendino a gas, così come quella emessa da una lampada a incandescenza possono essere descritte dalla legge di emissione di corpo nero, ovviamente a differenti temperature (Agiolo Gallitto & Fiordilino, 2011).

Molti sistemi sottoposti ad azioni di natura elettrica possono emettere radiazioni luminose, in quantità assai maggiore di quello che corrisponderebbe alla loro temperatura, per luminescenza. Si basano su questo principio le lampade elettriche a scarica in gas rarefatti, a vapori di mercurio, a vapori di sodio ecc. In passato, nelle lampade a scarica erano usati quasi esclusivamente i vapori di mercurio (riconoscibili dalla caratteristica emissione di luce blu-verdastra), il neon (luce rossastra) e l'anidride carbonica (luce biancastra); le lampade avevano la forma di tubi più o meno ripiegati o di ampole (di vetro o di quarzo), nelle quali penetravano gli elettrodi fra cui veniva prodotta la scarica. Le lampade a luminescenza sono quindi a spettro discreto, che comprende solo alcune righe di emissione; con la natura del corpo e le condizioni di eccitazione varierà il numero e la posizione nello spettro di queste righe, cioè il colore della luce emessa.

In passato, sono state realizzate anche lampade in cui la luce viene emessa in parte come radiazione termica e in parte per luminescenza; un esempio sono le lampade elettriche ad arco (Pasqualini, 1901). In queste lampade, l'arco voltaico emette una luce intensa dovuta in parte all'incandescenza delle estremità degli elettrodi e in parte all'emissione, prevalentemente per elettroluminescenza, del ponte di vapori presenti nell'arco.

Oggi sono principalmente usate le lampade a LED per il loro basso consumo elettrico. Esse inoltre usano diversi fosfori per realizzare lampade efficienti a luce bianca con diverse tonalità (temperature di colore). Nella figura 18 sono mostrati gli spettri della luce emessa da una lampada a LED commerciale con tre differenti temperature di colore; essi mostrano una banda nella regione del blu relativa alla luce emessa direttamente dal diodo (picco a circa 450 nm) e una banda più larga relativa all'emissione del rivestimento fluorescente nella regione verde-giallo (circa 500-700 nm). Al cambiare delle intensità relative delle due bande si ottiene una luce con differenti tonalità.

Molti progressi significativi nello sviluppo delle sorgenti di luce artificiale sono stati fatti grazie alle ricerche condotte da fisici, chimici e ingegneri in tutto il mondo. Ciò ha portato allo sviluppo di sorgenti di luce artificiale con lampade basate su moderni mate-

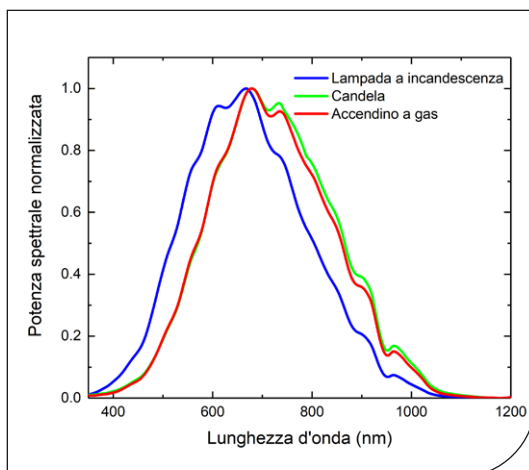


Fig. 17. Potenza spettrale normalizzata emessa da una moderna candela, un accendino a gas (GPL) e una lampada a incandescenza.

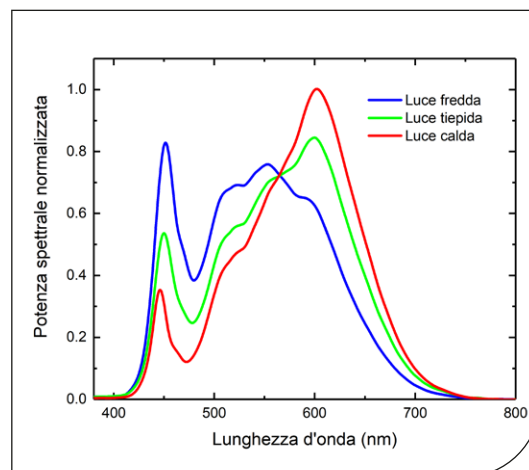


Fig. 18. Potenza spettrale normalizzata emessa da una lampada a LED per tre differenti tonalità di bianco. Il picco di luce blu (a circa 450 nm) è dovuto all'emissione diretta del diodo, l'emissione nella banda più larga è del rivestimento fluorescente nella regione verde-giallo (attorno a 500-700 nm).

riali ingegnerizzati per gli involucri, fosfori, rivestimenti ottici e contenitori per scariche di gas ad alta temperatura.

Vale la pena anche sottolineare l'importanza, dal punto di vista didattico, dello studio dello sviluppo storico degli strumenti scientifici e della possibilità di riprodurre gli esperimenti originali, in quanto ciò può essere usato in percorsi tematici di insegnamento/apprendimento per favorire una comprensione autentica dei fenomeni fisici e delle leggi che li governano (Pantano & Talas, 2010; Barbacci et al., 2012; Agliolo Gallitto et al., 2017).

CONCLUSIONI

Nell'articolo abbiamo presentato alcuni strumenti scientifici della Collezione Storica degli Strumenti di Fisica dell'Università di Palermo, riguardanti le sorgenti luminose artificiali, usati per la didattica e la ricerca in fisica a partire dal XIX secolo. Sono stati descritti lo sviluppo storico delle principali sorgenti luminose artificiali e il loro principio di funzionamento; sono state presentate in particolare le caratteristiche fisiche di alcuni strumenti della Collezione ed è stato illustrato l'uso che ne veniva fatto negli esperimenti scientifici dell'epoca.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano Casimiro Caruso e Marcello Mirabello per l'assistenza tecnica.

BIBLIOGRAFIA

AGLIOLO GALLITTO A., FIODILINO E., 2011. A didactic experiment and model of a flat-plate solar collec-

tor. *Physics Education*, 46: 312-317 (doi: 10.1088/0031-9120/46/3/010).

AGLIOLO GALLITTO A., LICATA S., MIRABELLO F. TARMINA F., 2016. Recupero di un raro banco ottico del Melloni costruito nella Palermo della "belle époque". *Museologia Scientifica*, n.s., 10: 117-121.

AGLIOLO GALLITTO A., PACE V., ZINGALES R., 2017. Multidisciplinary learning at the University scientific museums: the Bunsen burner. *Museologia Scientifica*, n.s., 11: 103-107.

AGLIOLO GALLITTO A., CHINNICI I., BARTOLONE F., 2018. La Collezione degli strumenti storici di Acustica dell'Università di Palermo. *Museologia Scientifica*, n.s., 12: 48-54.

AGLIOLO GALLITTO A., ZINGALES R., BATTAGLIA O.R., FAZIO C., 2021. An approach to the Venturi effect by historical instruments. *Physics Education*, 56(2): 025007 (9 pp) (doi: 10.1088/1361-6552/ab-c8fa).

ANDERSON K.J., 1990. Materials for Incandescent Lighting: 110 Years for the Light Bulb. *MRS Bulletin*, 12: 52-53 (doi: 10.1557/S0883769400060759).

BARBACCI S., BRENNI P., GIATTI A., 2012. *Strumenti scientifici: object reading e didattica informale*. In: Peruzzi A. (a cura di), Pianeta Galileo 2011. Consiglio regionale della Toscana, Firenze, pp. 183-198.

CARPENTIER J., 1907. *Catalogue 1907. Appareils courants. Ateliers Ruhmkorff, Paris* (cnum.cnam.fr/pgi/fpage.php?M9854/1/100/197/0/0).

FIGUIER L., 1870. *Les Merveilles de la science, ou Description populaire des inventions modernes. Tome 4, L'art de l'éclairage*. Jouvot et C^{ie}, Paris (gallica.bnf.fr/ark:/12148/bp-t6k24677k).

GANOT A., 1863. *Trattato elementare di fisica sperimentale*

ed applicata. XVII ed. Francesco Pagnoni Tipografo-Editore, Milano.

GORDON J. P., ZEIGER H.J., TOWNES C.H., 1955. The Maser - New Type of Microwave Amplifier, Frequency Standard, and Spectrometer. *Physical Review*, 99: 1264-1274 (doi: 10.1103/PhysRev.99.1264).

GOUDSBLOM J., 1994. *Fuoco*. In: Enciclopedia Treccani. Enciclopedia delle scienze sociali (www.treccani.it/enciclopedia/fuoco_(Enciclopedia-delle-scienze-sociali)/).

HAUKSBEE F., 1709. *Physico-mechanical experiments*. R. Brugis, London.

JAVAN A., BENNETT JR. W.R., HERRIOTT D.R., 1961. Population Inversion and Continuous Optical Maser Oscillation in a Gas Discharge Containing a He-Ne Mixture. *Physical Review Letters*, 6: 106-110 (doi: 10.1103/PhysRevLett.6.106).

JENSEN W.B., 2005. The Origin of the Bunsen Burner. *Journal of Chemical Education*, 82(4): 518-519 (doi: 10.1021/ed082p518).

JENSEN W.B., 2014. *Spectroscopes, Spectrometers, Spectrographs*. Oesper Museum Booklets on the History of Chemical Apparatus No. 7. University of Cincinnati (drc.libraries.uc.edu/items/0b0beaa6-8aa9-40ee-9260-8ce667730915).

KIRCHHOFF G., BUNSEN R., 1860. Chemical Analysis by Observation of Spectra. *Annalen der Physik und Chemie (by J.C. Poggendorff)*, 110: 161-189.

KOHN M., 1950. Remarks on the history of laboratory burners. *Journal of Chemical Education*, 27(9): 514-516 (doi: 10.1021/ed027p514).

NASTASI P., 1998. *Da Domenico Scinà a Michele La Rosa. Le scienze chimiche, fisiche e matematiche nell'ateneo di Palermo*. In: Nastasi P. (a cura di), *Quaderni del Seminario di Storia della Scienza*, n. 7. Facoltà di Scienze dell'Università di Palermo, Palermo, pp. 121-165.

PANTANO O., TALAS S., 2010. Physics thematic paths: laboratorial activities and historical scientific instruments. *Physics Education*, 45(2): 140-146 (doi: 10.1088/0031-9120/45/2/002).

PASQUALINI D.L., 1901. *Nozioni elementari di elettrotecnica*. Tipografia R. Istituto Sordomuti, Genova.

PERUZZI G., TALAS S. (a cura di), 2004. *Bagliori nel vuoto. Dall'uovo elettrico ai raggi X: un percorso tra elettricità e pneumatica dal Seicento a oggi*. Canova.

PRIVAT DESCHANEL A., 1872. *Elementary Treatise on Natural Philosophy. Part III - Electricity and Magnetism*. Blackie & Son, London.

PROKHOROV A.M., 1958. Molecular Amplifier and Generator for Submillimeter Waves. *JETP*, 7: 1140-1141.

RODRIGUEZ E., 1858. *Manual de fisica general y aplicada a la agricultura y a la industria*. Eusebio Aguado, Madrid.

RUBIN M.B., 2010. The development of the mercury lamp. *Bulletin for the History of Chemistry*, 35(2): 105-110.

SCHAWLOW A.L., TOWNES C.H., 1958. Infrared and Optical Masers. *Physical Review*, 112: 1940-1949 (doi: 10.1103/PhysRev.112.1940).

SEAR T., 2017. The Historical Collection of Physics Instruments of Palermo University. *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 132: 32-33.

ZUBAIRY M.S., 2016. *A Very Brief History of Light*. In: Al-Amri M.D., El-Gomati M., Zubairy M. (eds.), *Optics in Our Time*. Springer, Cham, pp. 3-24 (doi: 10.1007/978-3-319-31903-2_1).

Siti web (ultimo accesso 17.10.2024)

1) Università degli Studi di Palermo, Collezione Storica degli Strumenti di Fisica
sites.google.com/site/aurelioagliologallitto/collezione-storica

2) Incandescent, The Amazing History of Candles!
www.incandescent-candles.co.uk/pages/6/Candle-History/

3) de Luikerwaal (Dutch virtual magic lantern museum), Light in the darkness. The development of light sources for the magic lantern
https://www.luikerwaal.com/newframe_uk.htm?licht_uk.htm

4) Britannica, Natural gas
www.britannica.com/science/natural-gas

5) Fondazione Neri, Museo Italiano della Ghisa, L'illuminazione attraverso i tempi: dalle origini all'utilizzo ottocentesco del gas
www.museoitalianoghisa.org/assets/images/pdf/Storia-Illuminazione-IT.pdf

6) Library and Archives Canada. Electric Light. Patent Number 3738, Henry Woodward e Mathew Evans, 1874
www.bac-lac.gc.ca/eng/discover/patents-1869-1919/Pages/item.aspx?IdNumber=3738&

7) The Canadian Encyclopedia, "Woodward and Evans Light Bulb", Bradburn J., 17.07.2020
www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/woodward-and-evans-light-bulb

8) Torinoscienza, "Alessandro Cruto (1847-1908)", Bianucci P. (a cura di)
www.torinoscienza.it/personaggi/alessandro-cruto

9) LampTech, Low Voltage Lamp Developments
http://www.lamptech.co.uk/Documents/SO%20History%20LV.htm

10) Original Hanau, Historie
www.original-hanau.de/en/company/history.html

Submitted: July 22nd, 2024 - Accepted: October 18th, 2024
Published: December 4th, 2024