LORENZO FLORA *

Gli studi sul calore radiante di John Tyndall: la Bakerian Lecture del 1861

John Tyndall on radiant heat: the Bakerian Lecture of 1861

Summary – The interaction between science and technology is nowadays complex and they are both helpfull to each other. Otherwise in the context of XIX century it seemed that technology was at the service of science: it only provided tools that produce data upon which scientists had to think about. The analysis of John Tyndall's research on the absorption of radiant heat by gases and vapour, dated 1859-1860, shows not only that a good scientific apparatus was necessary to obtain trustworthy and repeatable results, but also its central role in the cognitive process of the physicist.

Key words: Tyndall, Spectroscopy, Scientific Instrument, Science and Technology

Introduzione

Entrando oggi in un centro di ricerca ci si rende rapidamente conto che per fare scienza è imprescindibile l'uso della tecnologia: girando per i corridoi delle facoltà scientifiche italiane si incontrano spesso ricercatori e studenti affaccendati, per esempio, attorno ad uno spettroscopio o ad un computer. Se poi si scende nei sotterranei, dove in genere si trovano gli strumenti più sensibili e costosi, e ci si sofferma davanti alle porte dei vari locali, capita di vedere affisso un foglietto ricoperto di scritte e cancellature su cui sono segnate le prenotazioni per l'uso dello strumento contenuto all'interno. Non è raro in questi casi leggere sul foglietto orari di lavoro insoliti, perfino notturni o festivi.

L'uso della strumentazione nella pratica scientifica è divenuto sempre più palese dagli anni '50 del secolo scorso: le possibilità offerte dalla spettroscopia e dall'elettronica portarono un tale sconvolgimento nella vita del laboratorio chimico

* Via Digione 7, 10143 Torino. E-mail: flora.lorenzo@libero.it

che c'è chi si riferisce a quel periodo in termini di rivoluzione [1, 2]. In poco tempo l'interazione tra scienza e tecnologia fu del tutto evidente, tanto che dagli anni '80 si cominciò a parlare di tecnoscienze, sottolineando il fatto che l'ambiente tecnologico fornisce le basi e spesso anche gli obiettivi di alcune discipline scientifiche.

Nell'illustrare tale rivoluzione diversi autori sostengono che la scienza fino alla metà del '900 fosse guida per l'opera tecnologica, individuando così la supremazia del sapere sulla pratica [3, 4], e che successivamente lo sviluppo tecnologico divenne non solo indipendente dalla ricerca teorica ma anche distante dalla sua capacità interpretativa. Questa posizione presuppone che ci sia una netta frattura tra scienza e tecnica, tra conoscenza teorica e conoscenza pratica: prima la tecnologia serviva la scienza fornendo gli strumenti per l'indagine, poi, non più controllabile a causa dello sviluppo troppo rapido, cominciò addirittura a definirne i campi d'interesse.

A me sembra che tale dicotomia mal si adatti alla realtà: fin dagli albori delle scienze sperimentali, individuabili nei precetti di Bacon e nell'opera di Galileo, l'interazione tra scienza e tecnologia era ben più complessa di un semplice rapporto di sudditanza dell'una rispetto all'altra. Feyerabend ha mostrato ad esempio che le conoscenze teoriche di ottica al tempo di Galileo non permettevano di considerare attendibili le immagini viste in un cannocchiale [5], mettendo così in difficoltà il mito secondo cui gli strumenti scientifici venivano usati razionalmente, alla luce di una teoria che ne giustificasse l'utilizzo; d'altro canto per Bacon il sapere teorico doveva addirittura avere come fine lo sviluppo tecnologico, l'aumento della capacità dell'uomo di intervenire sulla natura [6].

Il presente contributo vuole esplorare il ruolo giocato dalla strumentazione scientifica nella ricerca. Esso è il proseguimento del lavoro che presentai al Convegno precedente [7], dove discussi un programma di ricerca sorto nel 1959 in cui la centralità dell'aspetto tecnologico era inevitabile. Ora sposto invece l'attenzione al passato, a quel XIX secolo in cui, è opinione diffusa, la tecnologia era asservita alla scienza e si limitava a fornire agli scienziati i mezzi necessari per accrescere le conoscenze teoriche. A tal fine descriverò gli studi sull'assorbimento del calore da parte di diverse sostanze aeriformi che John Tyndall condusse nel biennio 1859-60 e che rese pubblici in una Bakerian Lecture del 1861 [8].

Perché il ricorso all'opera di Tyndall? Per comprendere in maniera realistica l'attività degli scienziati è necessario disporre di descrizioni complete delle operazioni che svolgono, delle decisioni che prendono, in poche parole di come lavorano. Tali descrizioni difficilmente compaiono negli articoli scientifici, la cui finalità è quella di presentare risultati in modo che appaiano attendibili e riproducibili, e quindi di sostenere una determinata teoria. Per fare ciò si ricorre ad un linguaggio codificato e ad una struttura predefinita: l'opera dello scienziato passa dunque attraverso un filtro a maglie molto fini, che separa la vera e propria pratica sperimentale e cognitiva, soggetta ai ripensamenti e alle emozioni di chi la conduce, dal risultato ottenuto. In genere, inoltre, nell'ultimo paragrafo di questi articoli è presentato in maniera esauriente il discorso razionale che porta all'accettazione delle

conclusioni; ma tale discorso difficilmente è svolto durante il lavoro sperimentale, bensì viene condotto a parte ed è dunque indicativo del modo di procedere razionale degli scienziati, ma non del loro fare scienza.

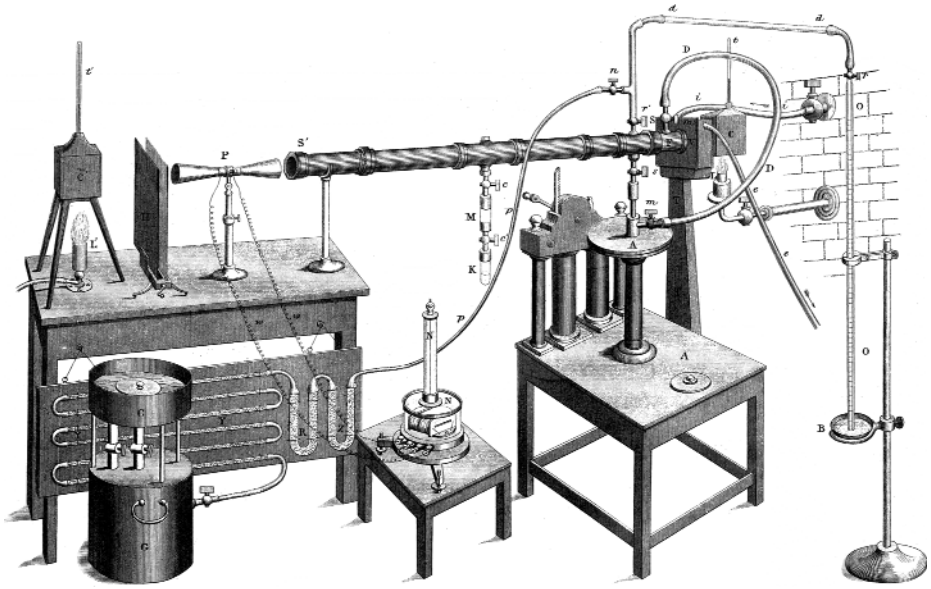
La Bakerian Lecture del 1861 è concepita in modo totalmente diverso rispetto ai moderni articoli scientifici. Il linguaggio usato, sebbene sia scientifico e preciso, ha una forma colloquiale e fa uso della prima persona; inoltre l'autore descrive i dettagli della sua ricerca, dalle ipotesi di lavoro alle condizioni operative, fino ad arrivare ai successi. E non si limita soltanto a questo: sono anche messi in evidenza i fallimenti e le continue modifiche che furono apportate nel corso dei due anni allo strumento utilizzato. Ancora le operazioni sono riportate in modo diacronico, talora addirittura con le date in cui furono svolte le misure, e sono nominate le persone che hanno giocato un qualche ruolo nella ricerca, sia chi ha costruito parti dello strumento, sia chi ha fornito i materiali. Si ha così l'impressione di leggere un racconto od un diario, il cui effetto è di proiettare il lettore all'interno del laboratorio di Tyndall e di renderlo vero e proprio spettatore delle ricerche.

La Bakerian Lecture del 1861: lo strumento

John Tyndall (1820-1893) fu uno dei più importanti fisici sperimentali e divulgatori dell'Inghilterra vittoriana; per una sua biografia dettagliata rimando a quelle scritte da suoi contemporanei [9, 10] e alla più recente [11]. Brevemente vale la pena ricordare che ottenne la cattedra di fisica della Royal Institution nel 1853, dopo aver lavorato nei laboratori tedeschi di Bunsen a Marburgo e di Magnus a Berlino, e la mantenne fino al 1887. Le sue ricerche furono centrate principalmente su quattro grandi temi: la formazione ed il movimento dei ghiacciai, le proprietà magnetiche dei corpi, il calore e la generazione spontanea. Ottenne i suoi più importanti risultati negli studi sul calore: la costruzione dello strumento che descriverò lo pone tra i padri della spettroscopia IR, e le scoperte che fece in tale campo lo collocano tra i pionieri della climatologia.

Il lavoro sperimentale descritto nel 1861 era finalizzato a studiare l'assorbimento del calore da parte di diverse sostanze allo stato aeriforme; a tal fine Tyndall costruì uno strumento sul modello di quelli usati pochi anni prima in ricerche analoghe da Melloni e da Franz. Lungo le 37 pagine della Lecture il fisico metterà più volte in evidenza i difetti degli strumenti usati dai due, giustificando così le diverse conclusioni cui giunsero.

Concettualmente lo strumento è analogo ad un moderno spettrometro, dotato di una sorgente di calore, un contenitore per l'aeriforme in analisi, un rivelatore e un elaboratore del segnale. Nei due anni di esperimenti subì notevoli modifiche in ognuna di queste principali componenti e anche negli accessori che permettevano l'immissione e la fuoriuscita dell'aeriforme; i numerosi miglioramenti furono utili per ottenere dati affidabili nell'analisi sia di gas che di vapori, sia di sostanze semplici che composte.



Inizialmente la sorgente di calore era un cubo di Leslie riempito con acqua bollente; presto Tyndall la sostituì in quanto ne desiderava una più intensa. Numerosi furono i tipi di sorgenti utilizzati: sfera di rame portata all'incandescenza, cubo di rame contenente metallo fuso e altre fonti di calore intenso. Per gli ultimi esperimenti il fisico decise però di recuperare il cubo di Leslie riempito d'acqua: l'errore dovuto alla non costanza delle altre sorgenti annullava infatti i vantaggi forniti dall'elevato calore radiante.

Il contenitore per l'aeriforme era un tubo lucidato internamente, prima di stagno e poi di ottone, (ma nel corso della ricerca ne furono utilizzati anche di materiale diverso); la sua lunghezza era di 122 cm e il diametro di 6.1 cm. Caratteristica principale del contenitore doveva essere la trasparenza al calore, per cui particolare attenzione fu posta alla qualità delle finestre: la bibliografia indicava come materiale ottimale il sale di roccia e Tyndall se ne procurò da diverse fonti per averne il più puro possibile. La preparazione del contenitore fu meticolosa, tanto che anche la scelta delle guarnizioni con cui unire le finestre al tubo non fu banale.

Come sistema rivelatore/elaboratore del segnale fu scelto il termomoltiplicatore di Nobili e Melloni, consistente in una termopila che fungeva da rivelatore collegata ad un galvanometro. Le richieste primarie rivolte a questo sistema erano la massima sensibilità e la linearità della risposta nell'intervallo più ampio possibile: per massimizzare queste caratteristiche Tyndall sfruttò il principio della differenzialità, dapprima usando un galvanometro differenziale (che riceveva due segnali da due termopile diverse, una di riferimento con segnale costante e una di misura), e

successivamente una pila differenziale (che inviava al galvanometro il segnale già modificato).

Lo strumento finale era strutturato in maniera tale da fornire dati assai attendibili, almeno secondo le conoscenze teoriche a disposizione all'epoca: la sorgente era costante, il contenitore era trasparente alla radiazione, il sistema termopila/galvanometro risultava molto sensibile. Ma i precisi e ripetibili risultati sperimentali di Tyndall non furono ottenuti soltanto grazie all'elevata qualità di queste tre componenti: l'irlandese si curò infatti anche di come dovevano interagire. L'uso di uno strumento differenziale ne è la testimonianza più evidente, ma è anche da notare l'inserimento di un tubo portato a vuoto lungo il cammino ottico tra la sorgente e la cella per l'analisi, per evitare contributi dell'aria all'assorbimento misurato, così come l'ideazione, costruzione e utilizzo di particolari accessori atti a fare invii di aeriformi a pressioni molto basse e misurabili.

La procedura cognitiva di Tyndall

Nel leggere la Lecture ci si rende in fretta conto dell'importanza che Tyndall attribuiva allo strumento: nel primo paragrafo viene richiamato lo stato dell'arte (le esperienze già citate di Melloni e Franz) senza tralasciare la presentazione degli strumenti utilizzati; il secondo e terzo paragrafo descrivono le successive modifiche che portarono alla forma finale dello strumento; il quarto, corredato dell'immagine riportata alla pagina precedente, sembra quasi un breve manuale d'uso. In tutto ci sono dieci paragrafi e, oltre ai quattro appena citati, i riferimenti allo strumento e agli interventi di modifica resisi necessari sono pressoché continui.

L'attenzione posta allo strumento ben si conforma a due rilevanti tesi in ambito epistemologico: la prima, secondo cui l'impresa scientifica è tale quando fa ricorso all'uso di strumenti affidabili; la seconda, secondo cui la crescita della conoscenza scientifica avviene in seguito ad un miglioramento tecnologico. Nelle dettagliate descrizioni degli esperimenti ho rintracciato una costante del percorso cognitivo, che vede il suo punto di partenza in una situazione problematica e che giunge alla soluzione ricorrendo sempre ad un intervento sullo strumento. L'inizio di tale percorso, la situazione problematica, può essere un dubbio teorico o un impedimento tecnologico, mentre la sua fine, la soluzione, è generalmente una nuova conoscenza teorica o la nascita di un nuovo accessorio per lo strumento. Ne risulta così una procedura che si può riassumere nel seguente schema:

Tale procedura si manifesta almeno in dieci casi inquadrabili in tre diverse tipologie di problemi: ottenere dati precisi e ripetibili, dare risposte a dubbi teorici, giustificare fenomeni imprevisti. Ho riassunto questi casi nella tabella successiva; nel prosieguo illustrerò solo i tre più significativi.

Un problema del galvanometro originava dal fatto che, quando la termopila era sottoposta ad una elevata quantità di calore, perdeva in sensibilità: per far deviare l'ago da 60° a 61° era infatti necessaria una quantità di calore circa venti volte superiore rispetto a quella richiesta per farlo inclinare da 10° a 11°. Poiché per valutare l'assorbimento del calore da parte degli aeriformi bisognava lavorare con elevate quantità di calore il galvanometro diventava un strumento poco sensibile per le misure (caso 3). Per risolvere tale difficoltà Tyndall utilizzò il principio della differenzialità: collegata al galvanometro una seconda termopila che riceveva calore da una seconda sorgente costante (sorgente di riferimento), posizionata in modo tale da produrre una corrente che neutralizzasse quella trasmessa dalla termopila di misura, l'effetto che ne scaturiva era che l'ago del galvanometro si poneva sullo 0, nella posizione di massima sensibilità.

	PROBLEMA	INTERVENTO	RISULTATO
1	Il galvanometro non è perfettamente astatico: il suo ago in condizioni di riposo presenta deviazione dallo 0, il che può creare incertezza nella registrazione del dato	Viene individuata la causa in tracce di ferro presenti nella tintura utilizzata per colorare il rivestimento di seta del rame costituente la bobina. Una volta sostituito con seta bianca il problema non si ripresenta	• Primo galvanometro che non ricorre ad un magnete esterno per essere azzerato e che permette così di effettuare misure quantitative più precise • Elaborazione di un metodo semplice e rapido per testare il comportamento magnetico dei metalli
2	Pur essendo creato il vuoto all'interno del contenitore del campione giunge alla termopila un segnale attenuato	Viene usato un tubo lucidato internamente e viene fatta un'accurata scelta delle finestre di sale di roccia, in modo da averne di purissime	I dati di assorbimento forniti dallo strumento saranno privi di errori dovuti al contenitore del campione. Le misure quantitative saranno così più precise
3	Sottoposto ad un segnale intenso il galvanometro devia il suo ago fino ad elevati angoli, posizione in cui diviene insensibile alle variazioni del segnale	Non si può rinunciare ad un segnale intenso per motivi di sensibilità del galvanometro. Viene introdotta una seconda sorgente di calore che funge da riferimento, in modo tale che annulli la deviazione dell'ago causata dal calore emesso dalla sorgente di misura: si può così operare anche con segnali intensi pur mantenendo l'ago del galvanometro sullo 0	I dati di assorbimento forniti dallo strumento saranno quantitativamente significativi in quanto misurati in condizioni di elevata sensibilità
4	Necessità di avere una fonte di calore radiante costante e intensa	Misure effettuate più volte con molteplici sorgenti al fine di trovare il miglior compromesso tra intensità e stabilità dell'emissione: la migliore sorgente risulta essere il cubo di Lesile riempito con acqua alla temperatura di ebollizione	Rinuncia all'intensità del segnale (ma la sensibilità del galvanometro è già stata implementata con gli interventi precedenti) in favore della stabilità, senza la quale le misure non potrebbero essere quantitative

5	Assorbimento anomalo (molto alto) da parte dell'etilene rispetto alle sostanze precedentemente studiate	Tyndall «mette sotto tortura» lo strumento: controlla che le finestre non si siano opacizzate, smonta e ripulisce il tubo, usa un tubo di vetro trasparente per osservare cosa succede all'interno, effettua invii di pressioni via via minori al fine di vedere se si raggiungono valori di assorbimento confrontabili con quelli delle altre sostanze	Conferma il grande assorbimento dell'etilene con una sua importante conseguenza: non tutti i gas trasparenti alla luce, ritenuti diatermici, sono trasparenti anche al calore
6	Andamento anomalo (non viene rispettata la proporzionalità diretta) dell'assorbimento dell'etilene al variare della densità del gas	Tale anomalia viene imputata all'elevata densità del gas nel contenitore. Viene quindi costruito un accessorio per lo strumento che permette invii di pressioni basse, misurabili per via indiretta, di etilene. A basse pressioni la proporzionalità è rispettata	• Spiegazione del perché ad alte densità la proporzionalità non è rispettata: le particelle presenti nella parte finale del cammino del calore ne ricevono una minor quantità in quanto questo è già stato assorbito nella prima parte, col risultato di assorbirne meno del previsto • L'ipotetica proporzionalità tra densità e assorbimento è confermata sperimentalmente per le basse pressioni
7	Andamento anomalo (non viene rispettata la proporzionalità diretta) dell'assorbimento dei vapori al variare della densità del gas	Tale anomalia viene imputata al fatto che i vapori assorbano molto più dei gas, anche dell'etilene. Nuovamente viene costruito un accessorio per lo strumento che permetta invii di pressioni molto basse e misurabili di vapori	Confermata la proporzionalità tra densità ed assorbimento anche per i vapori
8	Comportamento anomalo del disolfuro di carbonio durante lo svuotamento del tubo dal gas (nella pompa per fare il vuoto avvengono piccole esplosioni e fuoriesce del fumo azzurro)	Ipotizza che ad alte pressioni avvenga una reazione violenta tra il disolfuro di carbonio e l'ossigeno dell'aria. Mette dunque del cotone imbevuto di CS_2 in una siringa tappata e comprime: effettivamente avviene la reazione e se si usa ossigeno puro anziché aria questa è più violenta	Confermata la motivazione dello strano fenomeno
9	Dopo l'esperimento sull'assorbimento del cloro l'ago del galvanometro non ritorna sullo 0	Una volta smontato il tubo di analisi non è più internamente lucido: il cloro lo ha corroso e ne risulta una diminuzione del calore che raggiunge la termopila. Sorge il dubbio che il tubo abbia influito anche in misure su altri gas e vengono dunque rifatte le misure con tubi diversi, uno lucido e uno annerito	Negazione dell'esistenza dell'«effetto tubo»
10	Misurare anche la trasmissione del calore da parte degli aeriformi	Il problema non può essere risolto con lo strumento a disposizione: ne viene costruito uno dalle caratteristiche diverse	

In seguito alle modifiche (vedasi anche il caso 1) il galvanometro divenne uno strumento atto ad effettuare misure quantitative attendibili. I dati ottenuti dal fisico irlandese sono notevolmente differenti rispetto a quelli riportati da Melloni e da Franz: nei loro esperimenti sull'assorbimento del calore da parte dell'aria atmosferica i due scienziati utilizzarono strumenti concettualmente analoghi a quello di Tyndall, ma meno curati nella scelta dei materiali, nell'assemblaggio dei singoli componenti e nella taratura del galvanometro. Melloni sostenne che l'aria non assorbe; egli operò con il suo termomoltiplicatore, come sorgente usò un'estesa parete riscaldata dai raggi solari, mentre il percorso del calore era stimato di 5-6 metri [12]; la sua conclusione sembrava anomala, in quanto lui stesso aveva mostrato come gli altri stati di aggregazione assorbissero il calore, seppur in modo diverso. Franz ottenne invece dati piuttosto differenti: utilizzando sempre il termomoltiplicatore come rivelatore, ma una lampada Argand come sorgente e un percorso del calore molto più breve (90 cm circa), misurò un assorbimento da parte dell'aria atmosferica pari al 3.54% [13]. I risultati di Tyndall si pongono a metà: l'esperienza di assorbimento da parte dell'aria, liberata dal vapore acqueo e dall'anidride carbonica, produceva un debole assorbimento, pari allo 0.33%. Ciò significa che anche l'aria assorbe, a dispetto di quanto sosteneva Melloni, ma non tanto come diceva Franz. Tyndall spiegò anche perché le sue misure fossero più attendibili: il galvanometro utilizzato nelle due esperienze non era sensibile, tanto che Melloni non fu in grado di rilevare alcuna variazione dell'inclinazione dell'ago; Franz inoltre utilizzò finestre di vetro e non di sale per il tubo di analisi, creando così una fonte di calore secondaria che diminuiva la sua temperatura quando veniva a contatto con l'aria da analizzare, producendo una lettura di assorbimento esagerata.

Con il suo strumento Tyndall misurò l'assorbimento del calore da parte di diversi gas: nell'ordine ossigeno, idrogeno, azoto, etilene, cloro, mono e biossido di carbonio, acido solfidrico, monossido di azoto. I risultati ottenuti in seguito all'esperienza sull'etilene erano anomali rispetto a quelli forniti dai gas misurati precedentemente (caso 5): mentre i primi mostravano uno scarso assorbimento, confrontabile con quello dell'aria, l'etilene assorbiva l'81% della radiazione; ciò metteva in dubbio la teoria accettata, perché si riteneva che i gas trasparenti alla luce fossero anche diatermici. Prima di fidarsi del dato sperimentale il fisico irlandese cercò di eliminare il sospetto di un errore dovuto allo strumento: dapprima suppose un appannamento delle finestre in seguito al contatto con il gas (ipotesi scartata dopo aver smontato il tubo di analisi e verificato che le finestre risultavano pulite), quindi provò a fare invii di aria previamente raffreddata come l'etilene, infine provò a fare invii in tubi per analisi di diversi materiali, uno anche di vetro trasparente in modo da poter osservare gli eventi all'interno; il risultato dell'assorbimento non cambiò in nessun caso. Solo dopo questa serie di interventi, tutti strettamente legati all'uso della strumentazione, Tyndall accettò il dato anomalo e fu in grado di stabilire la mancanza di correlazione tra l'assorbimento della radiazione luminosa e di quella calorica.

La strumentazione risultò utile al fisico anche per affrontare un terzo tipo di problemi: i casi 8 e 9 riportati in tabella sono esempi di come il lavoro con uno strumento possa originare degli eventi inattesi, che possono a loro volta dare luogo a nuovi campi di indagine. Concentriamoci sul caso 8: dopo aver tirato a vuoto il tubo di analisi in seguito alle misure sui vapori di disolfuro di carbonio, si sentì un'esplosione e si levarono densi ammassi di un maleodorante fumo azzurro. Questo fenomeno si verificò solo con il disolfuro di carbonio e quindi lo si poteva attribuire ad una specifica reazione chimica: Tyndall suppose che il disolfuro rimasto nei cilindri della pompa, a contatto con l'ossigeno dell'aria e sottoposto alla pressione del pistone, desse luogo alla reazione. Per testare l'ipotesi utilizzò una siringa collegata ad un tubo di vetro e contenente un batuffolo di cotone imbevuto di disolfuro di carbonio: quando l'aria nella siringa veniva compressa tramite il pistone si osservava un lampo luminoso e dal tubo fuoriusciva il fumo blu di anidride solforosa. Questa semplice esperienza, condotta con un normale attrezzo di laboratorio trasformato nell'occasione in uno strumento per effettuare osservazioni, permise di corroborare un'ipotesi scientifica che esulava dal campo di indagine originario.

Considerazioni conclusive

I casi discussi finora sono esempi di come la strumentazione ricopra un ruolo centrale nelle scienze sperimentali. Il lavoro che Tyndall ha svolto per costruire, implementare e rendere affidabile il suo strumento di misura è stato condizione necessaria sia per giungere a dei risultati teorici innovativi, sia per aprire la strada a nuovi ambiti di ricerca: per quanto riguarda i primi ricordo la constatazione della non corrispondenza tra capacità di assorbimento della luce e del calore, oltre alla formulazione di una bozza di modello molecolare che il fisico approfondirà in una Bakerian Lecture successiva [14]; per i secondi basti pensare che anche grazie al lavoro descritto oggi Tyndall è riconosciuto come uno dei padri della spettroscopia e della climatologia. Cosa sarebbe successo se i dati fossero stati raccolti con uno strumento mal concepito quale quello di Franz? Probabilmente sarebbero stati ottenuti risultati di difficile interpretazione che avrebbero fatto abbandonare il campo di indagine, oppure risultati falsati che avrebbero spinto a formulare ipotesi scientifiche incoerenti con altre. La Lecture mostra in modo molto chiaro che Tyndall riteneva che la conoscenza scientifica non si potesse ampliare se non utilizzando in modo attento e creativo le possibilità offerte dalla tecnologia. E questa non è una mia deduzione: lo stesso Tyndall ha sottolineato più volte l'importanza della pratica sperimentale nell'accrescere la conoscenza scientifica [15, 16, 17]; considerando la rilevanza che egli assegna allo strumento in tale pratica si deve concludere che per lui l'uso della strumentazione scientifica è condizione necessaria per fare scienza.

Dalle descrizioni contenute nella Lecture si è indotti a ritenere che l'uso della tecnologia sia subordinato alle necessità dettate dalla conoscenza teorica: nella

ricerca di soluzioni ai problemi che incontra, Tyndall prima propone ipotesi e solo successivamente interviene sullo strumento a ragion veduta, cioè sapendo quale modifica apportare e per quale motivo, e che risultato aspettarsi; questa pratica rientra nell'utilizzo normale della strumentazione di misura. Ma anche in una ricerca così ben strutturata, dove tutte le scelte operative sono giustificate razionalmente, si palesa il ruolo dello strumento come co-protagonista nell'impresa scientifica. Questa considerazione emerge anzitutto quando si osserva che ogni operazione che permette di accrescere la conoscenza teorica coincide con un miglioramento dello strumento: l'ambito tecnologico si muove di pari passo con quello scientifico, anzi lo anticipa e ne guida il percorso di crescita. In secondo luogo si nota che di fronte ad un risultato inatteso (il caso dell'assorbimento anomalo dell'etilene) il fisico lascia in disparte l'atteggiamento razionale e comincia ad intervenire sullo strumento per tentativi, adducendo di volta in volta spiegazioni che sembrano ricadere più nell'ambito psicologico che in quello scientifico; di fronte ad un risultato imprevisto Tyndall mette sotto stress lo strumento, ciò che ha fornito il risultato stesso, e non la teoria che non lo accettava. Infine i casi 8 e 9 mostrano come l'utilizzo di una tecnologia nuova favorisca il manifestarsi di fenomeni che non riguardano direttamente il campo di ricerca sotto esame e che possono far nascere temi da indagare nuovi e inattesi. Forse è proprio questo il maggior contributo che la strumentazione, non schiava bensì comprimaria del procedimento razionale, può fornire alla crescita delle nostre conoscenze.

BIBLIOGRAFIA

[1] P.J.T. Morris (ed.), *From Classical to Modern Chemistry*, Royal Society of Chemistry, London (2002), 347 pp.
[2] D.S. Tarbell, A.T. Tarbell, *Essays on the history of organic chemistry in the United States, 1875-1955*, Folio, Nashville (1986), 335-352.
[3] R. Queraltó, «Technology as a condition of the possibility of scientific knowledge», *Society for philosophy and technology*, 4, 2 (1998), 95-102.
[4] G.O. Longo, «La tecnologia e il sapere», *Ulisse.it nella rete della scienza* (2003) [http://ulisse.sissa.it/biblioteca/saggio/2003/Ubib030601s001 – 25/11/2009].
[5] P.K. Feyerabend, *Contro il metodo*, Feltrinelli, Milano (2003), 101-115.
[6] L. Geymonat, *Storia del pensiero filosofico e scientifico*, vol. II, Garzanti, Milano (1970), 175-188.
[7] L. Flora, «Robert Bruce Merrifield ed il processo di automazione nella sintesi delle proteine». In: F. Calascibetta, L. Cerruti (a cura di), *Atti del XII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*, Accademia dei XL, Roma (2008), 229-243.
[8] J. Tyndall, «The Bakerian Lecture: On the absorption and radiation of heat by gases and vapours, and on the physical connexion of radiation, absorption, and conduction», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 151 (1861), 1-36.
[9] W.T. Jeans, *Lives of the electricians: professors Tyndall, Wheatston and Morse*. Whittaker, London (1887), 1-104.

[10] E. Frankland, «Obituary notice», *Proceedings of the Royal Society of London*, LV (1894), xviii-xxxiv.
[11] L. Cerruti, «The mirror of my own condition. John Tyndall, scienziato, divulgatore e biografo di Faraday». In: *Atti del XXVII Congresso di Storia della Fisica e dell'Astronomia*, in fase di stampa.
[12] M. Melloni, *La Thermocrôse*, Napoli (1850), 129-136.
[13] R. Franz, «Ueber die Diathermanität einiger Gasarten und gefärbten Flussingkeiten», *Annalen der Physik und Chemie*, XCIV (1855), 337-356.
[14] J. Tyndall, «The Bakerian Lecture: Contributions to Molecular Physics. Being the Fifth Memoir of Researches on Radiant Heat», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 154 (1864), 327-368.
[15] J. Tyndall, *Six Lectures on light delivered in America in 1872-1873*, 2nd ed, Appleton, New York (1886), 1-6.
[16] J. Tyndall, «On the Methods and Tendencies of Physical Investigation» in *Scientific Addresses*, Chatfield, New Haven (1870), 5-19.
[17] J. Tyndall, «Lessons in electricity» in *Selected works*, Alden, New York (1886), 289.