

## FARE CHIMICA CON LA LUCE: LA SPETTROSCOPIA<sup>1</sup>

VALENTINA DOMENICI

*Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Università di Pisa*

### Riassunto

Parlare di spettroscopia ai ragazzi delle scuole superiori potrebbe sembrare un obiettivo difficile da realizzare, tuttavia, scegliendo opportunamente il linguaggio e il livello di approfondimento, la spettroscopia è un argomento adatto, e soprattutto molto stimolante, per le innumerevoli applicazioni nella vita di ogni giorno. Questo contributo è un breve resoconto della lezione-seminario pensata in occasione dell'iniziativa Pianeta Galileo 2012.

Dopo una breve introduzione alle mie attività di ricerca, la mia lezione "*Fare Chimica con la Luce*" inizia di solito con una breve introduzione agli elementi principali della Spettroscopia. Infatti, i ragazzi dei Licei e delle Scuole Superiori hanno già alcune nozioni di base sulla fisica delle onde, e per questo non dovrebbero avere problemi a riconoscere le espressioni che di tanto in tanto cito durante la lezione.

La spettroscopia [1] è la disciplina che studia l'interazione tra la materia, fatta di atomi e molecole, e le onde elettromagnetiche, onde particolari con una duplice natura. Da una parte si comportano come tutte le onde: viaggiano nel vuoto alla velocità della luce ( $c$ ), hanno una frequenza caratteristica ( $\nu$ ) che si misura in Hertz, e una lunghezza d'onda ( $\lambda=c/\nu$ ), che si misura in metri o unità derivate. Dall'altra parte, le onde elettromagnetiche si comportano anche come corpuscoli che trasportano una quantità di energia ben precisa ( $E=h\nu$ , dove  $h$  è la costante di Planck). In particolare, la spettroscopia è lo studio, tramite strumenti particolari, delle radiazioni elettromagnetiche emesse o assorbite dalle diverse sostanze ed è quindi uno "strumento" fondamentale per i Chimici.

La nascita della moderna spettroscopia viene fatta coincidere storicamente con lo studio da parte degli astronomi della fine del Diciannovesimo secolo della luce proveniente dalle stelle. E' importante richiamare quindi la classificazione delle stelle a partire dai loro spettri di emissione, argomento che i ragazzi del Liceo, ad esempio, trattano durante l'ultimo anno di studi, ed introdurre così la spettroscopia atomica. Per far questo, didatticamente sono interessanti le storie di alcuni chimici, come Robert von Bunsen (1811-1899), e di alcuni fisici, come Gustav Kirchoff (1824-1887), che posero

---

<sup>1</sup> Lezione tenuta il 20 novembre 2012 presso il polo liceale "Pietro Aldi", Grosseto e il 14 febbraio 2013 presso il Liceo "Città di Piero", Sansepolcro (AR)

le basi della moderna spettroscopia. E' in questo contesto che vennero individuati elementi chimici prima sconosciuti, come il Rubidio, il Tallio e il Cesio.

A questo proposito, durante le lezioni porto spesso con me alcuni oggetti, come alcune parti di spettroscopi (si veda Figura 1) di proprietà del Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa, che appartennero ai chimico-fisici Camillo Porlezza (1884-1972) e Raffaele Nasini (1854-1931) della "Scuola Pisana". [2,3]



*Figura 1. A sinistra, fotografia di Camillo Porlezza; a destra, fotografia di uno spettrometro appartenuto a Camillo Porlezza esposto durante una mostra didattica presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay (ottobre 2011) [2]*

Passare dalla spettroscopia atomica a quella molecolare risulta particolarmente facile, rimanendo nell'ambito della regione ultravioletta-visibile (UV-vis) dello spettro elettromagnetico.

Le onde elettromagnetiche con una lunghezza d'onda compresa tra 400 e 750 nanometri costituiscono quella che comunemente si chiama luce o luce visibile, perché solo in questo intervallo di lunghezze d'onda i nostri occhi sono in grado di distinguere le diverse onde e di associarle a colori. Il colore degli oggetti è dovuto all'assorbimento di una particolare radiazione elettromagnetica nell'intervallo della luce visibile. Quando scendiamo a livello delle singole molecole è possibile risalire dal colore della radiazione assorbita dalla molecola stessa alla presenza nella sua struttura di alcuni gruppi di atomi specifici. Per esempio, il pigmento delle carote, il beta-carotene, appare arancione perché assorbe una radiazione con lunghezza d'onda di 450 nanometri e questo a sua volta è legato alla particolare struttura molecolare del beta-carotene. A questo proposito, esempi della Chimica dei coloranti sono particolarmente interessanti per i ragazzi delle scuole superiori.

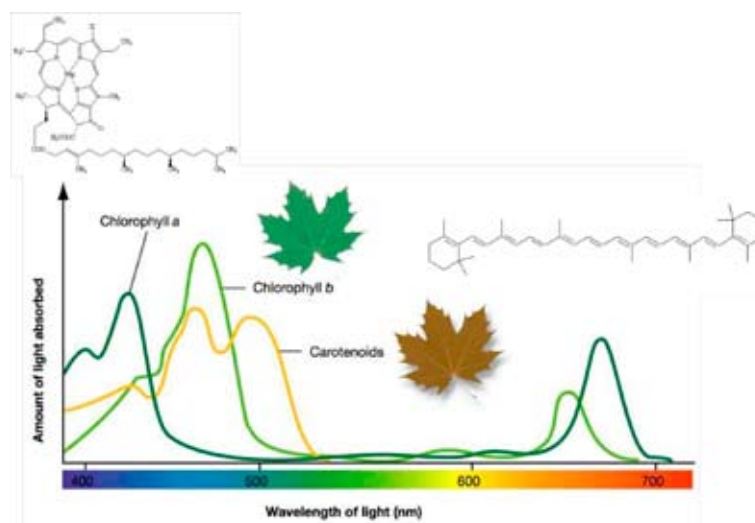


Figura 2. Spettri di assorbimento di alcuni pigmenti vegetali

Dagli spettri di assorbimento che caratterizzano la spettroscopia UV-vis passo a parlare della spettroscopia di fluorescenza, sempre attraverso esempi che i ragazzi possono conoscere da esperienze extra-scolastiche.

La fluorescenza è un processo opposto all'assorbimento, ovvero è l'emissione di radiazione da parte di una molecola. La "quantità" (o meglio, la resa,  $\Phi_F$ ) di fluorescenza si misura con valori compresi tra 0 e 1: molte molecole non sono affatto fluorescenti ( $\Phi_F = 0$ ), altre sono poco fluorescenti e altre ancora sono molto fluorescenti ( $\Phi_F \leq 1$ ).

L'emissione di radiazione è un processo molto veloce (il tempo caratteristico è circa di  $10^{-9}$  secondi): di fatto si osserva solo durante l'irraggiamento. Ai ragazzi è possibile far osservare la fluorescenza utilizzando lampade UV, nella semi-oscurità. Particolarmente affascinanti sono i minerali fluorescenti, come la scheelite, la fluorite e la sodalite, che sono abbastanza comuni.

Le energie in gioco e il tipo di radiazioni coinvolte nella fluorescenza sono simili a quelle della spettroscopia UV-vis. Si possono fare molti esempi di applicazioni della fluorescenza in Medicina e Biologia, parlando, ad esempio, delle proteine, ma anche nella Scienza dell'Alimentazione, dal momento che molti antiossidanti presenti nei cibi sono fluorescenti.

Un'altra spettroscopia molto usata, su cui è possibile fare moltissimi esempi di applicazioni è la spettroscopia infrarossa. Solitamente, la introduco parlando della storia di uno dei padri di questa tecnica, William Coblentz (1873 - 1962), [4] che costruì i primi strumenti utilizzando dei prismi di salgemma (Figura 3).

Il campo delle radiazioni infrarosse è caratterizzato da onde meno energetiche della luce visibile, e quindi con lunghezza d'onda maggiore di 750 nanometri. La grandezza usata per descrivere queste radiazioni è il numero d'onda ( $k=1/\lambda$ ) che si misura in  $\text{cm}^{-1}$ . Nella zona dell'infrarosso tra 4000 e 40  $\text{cm}^{-1}$ , chiamata medio infrarosso, i fotoni trasportano una quantità di energia che, se assorbita dalle molecole, fa vibrare alcu-

ni legami. Infatti, l'assorbimento dei fotoni infrarossi corrisponde ad una transizione energetica tra livelli vibrazionali della molecola.



Figura 3. A sinistra, William Coblentz; a destra, uno dei primi spettroscopi infrarossi costruiti dallo stesso Coblentz. [4]

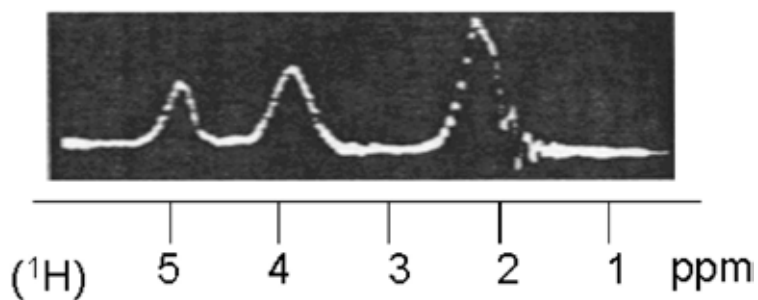
La spettroscopia infrarossa (IR) viene usata per studiare i prodotti alimentari, come l'olio d'oliva, identificandone la composizione chimica, ma anche l'eventuale presenza di alterazioni. Lo spettro IR dell'olio è infatti caratterizzato da tanti segnali, come quello a  $1750\text{ cm}^{-1}$  dovuto alla vibrazione del gruppo  $\text{-COO}$  (tipico anche dei trigliceridi) e altri nella regione tra  $1500$  e  $700\text{ cm}^{-1}$  dovuto ai gruppi  $\text{-CH}$  e  $\text{-CH}_2$ . La posizione di questi segnali o la loro assenza può significare che l'olio ha subito trattamenti e adulterazioni o che è "invecchiato".

Le onde immediatamente meno energetiche di quelle infrarosse sono le microonde, con lunghezza d'onda,  $\lambda$ , compresa tra 1 mm e 10 cm. A lunghezze d'onda maggiori di 10 cm le onde elettromagnetiche sono chiamate onde radio e, come tutti, vengono caratterizzate dalla loro frequenza, in Hz.

Sono proprio le radioonde alla base della spettroscopia di risonanza magnetica nucleare (NMR), una delle tecniche spettroscopiche più usate oggi nei laboratori di analisi chimiche. [5-7] Infatti, le onde radio con una frequenza,  $\nu$ , ben precisa e quindi con una energia,  $E$ , definita possono essere assorbite dai nuclei degli atomi. Non tutti, però, solo i cosiddetti nuclei magnetici possono assorbire le onde radio. Tra tutti i nuclei magnetici quelli più sfruttati dai chimici sono l'idrogeno  $^1\text{H}$  (Figura 4) e il carbonio  $^{13}\text{C}$  che hanno entrambi spin  $1/2$ . [7] I nuclei  $^1\text{H}$  e  $^{13}\text{C}$  sono presenti in moltissime sostanze e in particolare in tutti i composti organici. Per questo i chimici usano la Risonanza Magnetica Nucleare per identificare i composti incogniti nei loro campioni o per capire la struttura molecolare dei composti di nuova sintesi. [7]

Per parlare ai ragazzi delle scuole superiori di Risonanza Magnetica Nucleare non occorre entrare nel dettaglio dei principi fondativi, che tra l'altro risulterebbe abbastanza difficile senza introdurre i principi della meccanica quantistica, tuttavia, è possibile avvicinare e incuriosire i ragazzi parlando di alcuni importanti sviluppi di questa tecnica, ad esempio in campo medico, spiegando da cosa derivano le immagini 3D delle risonanze magnetiche usate negli ospedali.

Un altro aspetto interessante da un punto di vista didattico è l'approccio storico della nascita della Risonanza Magnetica Nucleare a partire dalle prime ricerche militari sui radar durante la Seconda Guerra Mondiale, fino all'utilizzo della Trasformata di Fourier per rendere la tecnica più rapida e più immediata per l'identificazione delle sostanze. [5]



*Figura 4. Primo spettro  $^1\text{H}$  NMR registrato. E' lo spettro dell'etanolo, con tre segnali caratteristici dei protoni dei gruppi  $\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_2$  e  $\text{OH}$ . [5]*

## BIBLIO/SITOGRAFIA

- [1] V. Domenici, "Fare Chimica con la Luce", Linx Magazine, N. 12, Aprile 2012.
- [2] V. Domenici, E. Parri, A. Lenzi, "Mostra Didattica 'Le pratiche della Chimica ieri e oggi' al Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay", in "La Chimica nei Musei e i Musei di Chimica" (V. Domenici e L. Campanella, curatori), La Sapienza Press, in stampa.
- [3] E. Parri, V. Domenici, L. Cetti, L. Rossetti, E. Magazzini, A. Lenzi, M. Macelloni, "Studenti delle Classi Terze della Scuola Primaria al Museo: Attività e Feedback in Aula", La Chimica nella Scuola (CnS), Vol. XXXV (1), p. 21, 2013.
- [4] V. Domenici, "Dietro un cristallo di sale", La Chimica nella Scuola (CnS), Vol.3, p. 79, 2013.
- [5] V. Domenici e C. A. Veracini, "Risonanza Magnetica Nucleare: passato, presente e futuro di una tecnica spettroscopica che ha cambiato la chimica e non solo. Parte I", La Chimica nella Scuola (CnS), vol. I, p. 21, 2007.
- [6] V. Domenici e C. A. Veracini, "Risonanza Magnetica Nucleare: passato, presente e futuro di una tecnica spettroscopica che ha cambiato la chimica e non solo. Parte II", La Chimica nella Scuola, vol. II, p. 71, 2008.
- [7] V. Domenici e C. A. Veracini, "Risonanza magnetica Nucleare: principi e applicazioni", Edizioni ETS, Pisa: 2011.
- <http://www.coblentz.org/home/history/william-weber-coblentz>
- <http://www.youtube.com/watch?v=PZyO9kO1mds>
- <http://www.youtube.com/watch?v=1UgxbO3PaVQ>
- <http://www.edizioniets.it/scheda.asp?N=9788846729668>
- <http://www.jstor.org/pss/232728>
- <http://magazine.linxedizioni.it/2012/04/16/fare-chimica-con-la-luce/>