

O 11 - LA FLUORESCENZA e le sue APPLICAZIONI

Si parla di “emissione” quando, da un corpo, proviene un flusso di energia sotto forma di suono od onde elettromagnetiche, oppure un flusso di materia sotto forma di elettroni o altre particelle. Quando viene emessa luce, si parla di “**luminescenza**”.

La fluorescenza è un caso particolare di luminescenza che si verifica per “eccitazione”, cioè sotto l’influenza di qualche altra radiazione elettromagnetica che colpisce il corpo luminescente: l’essenziale è che quel corpo può emettere luce (anch’essa una radiazione elettromagnetica, come sappiamo), quando è colpito da una radiazione di diversa lunghezza d’onda⁹⁶. La fluorescenza si distingue dunque dalla diffusione, nella quale NON avviene un cambiamento della lunghezza d’onda (indicata colla lettera greca λ {“lambda”}).

Se l’emissione avviene e cessa entro 10^{-8} s dopo l’eccitazione⁹⁷ si parla di fluorescenza; se si mantiene per un tempo più lungo dopo il cessare dell’eccitazione, anche per molti minuti, si parla di “fosforescenza”⁹⁸. La fosforescenza può durare così a lungo, poiché l’eccitazione può trasmettersi da un atomo all’altro per qualche tempo, in una specie di staffetta continua; quando tutta l’energia d’eccitazione è esaurita, la fluorescenza cessa. La fosforescenza raramente avviene nei gas: in essi, infatti, le distanze interatomiche sono abbastanza grandi perché l’eccitazione del singolo atomo avvenga senza coinvolgere quelli vicini.

Nei solidi e nei liquidi, invece, l’interazione fra gli atomi è forte e le cose si complicano.

La fluorescenza “da radiazione”, eccitata cioè da altre radiazioni elettromagnetiche, può conseguire ad un irraggiamento nel campo infrarosso, ottico, ultravioletto, X , γ , ecc. (vedi l’articolo O 4: “Lo spettro ottico”, fig. 63, pag. 36).

Il fenomeno può coinvolgere singoli atomi o interi edifici molecolari, in solidi, liquidi, raramente nei gas.

In particolare, nei gas rarefatti si presenta più spesso il fenomeno della “radiazione di risonanza”. Questo è il meccanismo: un gas presenta uno spettro di assorbimento caratteristico costituito da una serie di righe definite, ognuna corrispondente ad un salto energetico possibile di qualcuno dei suoi elettroni. Se quel gas è colpito da una radiazione di frequenza tale che i fotoni⁹⁹ di quella trasportino un’energia pari o superiore a quella di uno dei salti energetici dell’atomo, alcuni elettroni si possono eccitare e, entro 10^{-7} s, ritornano al livello energetico iniziale riemettendo radiazione della stessa lunghezza d’onda di quella d’eccitazione. Si ha qui un fenomeno di risonanza di elettroni, e la radiazione prodotta è appunto chiamata “di risonanza”; non si tratta di vera fluorescenza.

Quando invece gli atomi riemettono fotoni di energia inferiore a quella della radiazione eccitante¹⁰⁰, la radiazione emessa è di lunghezza d’onda maggiore. È questa la fluorescenza vera e propria, ed il fatto che la radiazione riemessa abbia lunghezza d’onda maggiore di quella d’eccitazione, è espresso come “legge di Stokes”.

Può avvenire a volte che gli atomi, nel ritornare allo stato di riposo dopo l’eccitazione, si scambino energia sufficiente a produrre fotoni più energetici di quelli assorbiti, per cui la radiazione di fluorescenza ha lunghezza d’onda minore di quella eccitante. Questa emissione in righe o bande spettrali che disobbediscono alla legge di Stokes si chiama “anti-Stokes”.

L’effetto Raman è un caso particolare di fluorescenza, e si verifica quando la radiazione che incide su un certo materiale non corrisponde a nessuna delle righe o bande di assorbimento degli atomi del materiale stesso. La radiazione emessa può obbedire o non alla legge di Stokes, ma è sempre assai debole.

Si tratta di fenomeni di eccitazione-diseccitazione di stati “vibrazionali” delle molecole; essi sono assai più complessi di quelli atomici a causa delle interazioni esistenti fra gli atomi della

⁹⁶ Quando l’eccitazione è dovuta a radiazioni corpuscolari si hanno casi di emissione di natura diversa, anche se spesso si parla ancora di fluorescenza (“catodo-fluorescenza”, eccitata da raggi catodici, ecc.).

⁹⁷ È come dire dopo un centesimo di milionesimo di secondo.

⁹⁸ Cosiddetta poiché avviene facilmente in certe forme di fosforo; la fluorescenza prende nome dal minerale fluorite, che è un fluoruro di calcio, spesso fluorescente.

⁹⁹ Per il concetto di fotone, vedi alla fine dell’articolo.

¹⁰⁰ Come è noto, l’energia di un fotone è pari ad $h\nu$, essendo h la costante di Planck e ν la frequenza. ν è pari a c/λ in cui c è la velocità della luce, per cui ν e λ sono grandezze inversamente proporzionali fra loro: le radiazioni di maggior frequenza ed energia sono quelle di minor lunghezza d’onda.

stessa molecola. Questo significa che un'analisi spettrografica della radiazione Raman consente di riconoscere la composizione chimica di una sostanza, anche se associata ad altre in una miscela complessa. La spettrografia Raman sta, infatti, diventando una tecnica di analisi biochimica sicura e precisa.

La fluorescenza si mette in evidenza irradiando (con la massima intensità possibile) un corpo con una o più lunghezze d'onda. Osservando lateralmente¹⁰¹ il corpo irradiato, si può rivelare la radiazione di fluorescenza. Dato però che quest'ultima è assai più debole della radiazione eccitante, occorre in genere proteggere ulteriormente l'occhio o il rivelatore dal fascio di eccitazione ed evitare che quest'ultimo possa nascondere la radiazione di fluorescenza. Ciò si fa sfruttando la legge di Stokes: si pone fra la sorgente ed il materiale fluorescente un filtro (del tipo "passa-alto") che ha la massima trasmissione per le radiazioni da un certo valore di lunghezza d'onda in giù¹⁰²; le lunghezze d'onda maggiori vengono arrestate da questo filtro, detto "di eccitazione". Sopra il limite superiore della banda di trasmissione di questo filtro si va a cercare la radiazione di fluorescenza osservandola attraverso un filtro ("di arresto" o "di sbarramento" {del tipo "passa-basso"}) che ha una curva di trasmissione complementare di quella del filtro d'eccitazione (fig. 178); esso cioè trasmette nel miglior modo la radiazione con lunghezza d'onda al di sopra della banda di eccitazione e sopprime al massimo le lunghezze d'onda contenute in quest'ultima. La radiazione di eccitazione è quindi eliminata e non disturba l'osservazione della fluorescenza, che è sempre infinitamente più debole. Per ogni fenomeno di fluorescenza è bene quindi disporre di un'opportuna coppia di filtri di eccitazione-sbarramento.

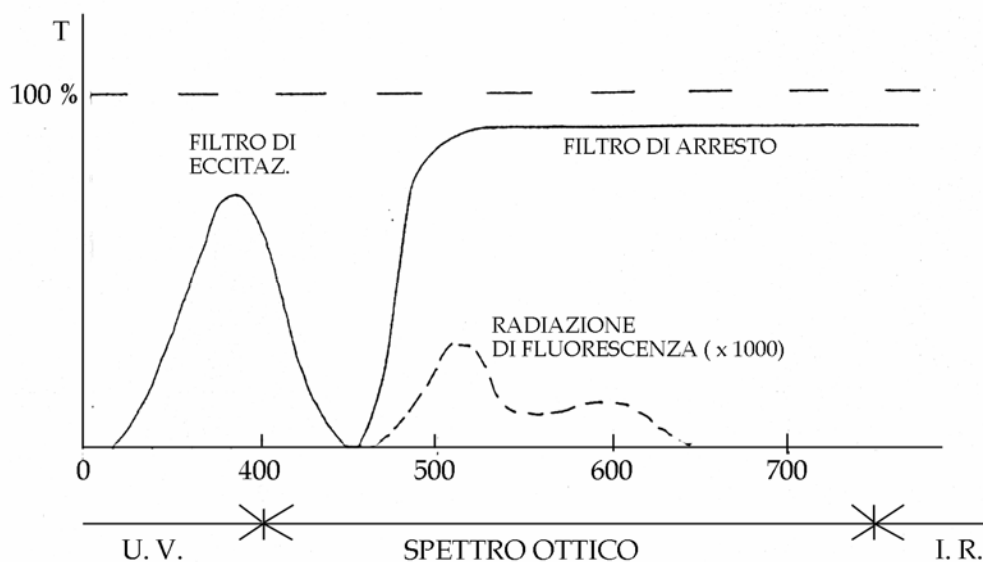


Fig. 178 - Curve di trasmissione di una coppia di filtri necessari per la comoda osservazione della fluorescenza. La curva in tratteggio è un possibile esempio di emissione di fluorescenza in un corpo.

D'altro canto, molti fenomeni di fluorescenza si svolgono con maggiore intensità illuminando l'oggetto con radiazione ultravioletta (UV). In questi casi, se la sorgente "di eccitazione" emette SOLO nel campo UV, la coppia di filtri citata non serve, poiché l'occhio umano non è sensibile alle radiazioni UV e può quindi percepire senza disturbo la radiazione di fluorescenza. Semmai, è prudente proteggere l'occhio con un filtro anti-UV.

Nelle esperienze descritte sotto, consiglieremo appunto una sorgente con prevalente emissione UV; la debole emissione residua nello spettro ottico ("visibile") non sarà sufficiente a nascondere l'emissione di fluorescenza degli oggetti che elencheremo. Non saranno necessari filtri speciali.

La fluorescenza è presente spontaneamente in certi minerali (fluorite, uraninite, ecc.), in certi petroli, in certi organi vegetali (tessuti contenenti clorofilla ed altri pigmenti, spore di funghi, soredi di licheni, ecc.); ed è questa la fluorescenza "primaria". Ma, specie in biologia, è spesso utile provocare la fluorescenza di un oggetto ("fluorescenza secondaria" o "indotta")

¹⁰¹ (per non essere abbagliati dal fascio eccitante)

¹⁰² Si suppone che nella banda trasmessa da questo filtro siano presenti le lunghezze d'onda necessarie per eccitare quel dato materiale.

trattandolo con opportune sostanze fluorescenti (“**fluocromi**”). Il vantaggio è che, per ragioni di affinità chimica o fisica, il fluocromo tende a legarsi selettivamente con certe parti dell’oggetto più che con altre, per es. su certi organuli cellulari. In questo modo il fluocromo si comporta come un colorante selettivo che aiuta a rivelare certe componenti chimiche e strutturali dell’oggetto.

L’uso dei fluocromi si fa più interessante nella ricerca degli antigeni¹⁰³: si cerca di legare chimicamente un anticorpo con un fluocromo; poi si tratta coll’anticorpo fluorescente l’oggetto sospetto; se vi è un antigene (uno specifico antigene e solo quello), su di esso si concentra l’anticorpo rendendolo visibile a causa della fluorescenza. La reazione antigene-anticorpo è assai specifica e permette diagnosi veloci e sicure. L’uso di anticorpi fluorescenti è una tecnica di ricerca diventata di routine in molte branche della medicina.

Normalmente, questa tecnica si esercita a livello di cellule e tessuti; pertanto essa presuppone l’uso di un microscopio particolarmente attrezzato con l’aggiunta dei filtri di eccitazione e di sbarramento, di una sorgente adeguata, ecc. Per ragioni tecniche, si usa spesso in questi casi l’illuminazione “verticale” o “incidente” o “episcopica”: l’oggetto non viene illuminato per trasparenza, ma “da sopra”, cioè dallo stesso lato dell’osservazione. Questo tipo di illuminazione episcopica è usata in genere per i corpi opachi (leghe metalliche, rocce, carboni, ecc.) e presuppone uno specchio semi-riflettente (E in fig. 179) che rinvia verso l’oggetto una parte del fascio illuminante e trasmette verso l’oculare una parte del fascio riflesso dall’oggetto. Nel microscopio a fluorescenza il semi-riflettente E è del tipo interferenziale colorato (“dicromati-co”): esso è costruito in modo da riflettere verso l’oggetto il massimo delle radiazioni d’eccitazione e da mostrare invece la massima trasparenza per la radiazione di fluorescenza; esso quindi appare di colore diverso a seconda che lo si osservi per riflessione o per trasparenza. Per avere il massimo rendimento, occorre che, per ogni fluocromo o gruppo di fluocromi simili, si adoperi un diverso corredo di filtro di eccitazione (B in fig. 179), specchio dicromatico (E) e filtro di arresto (A). Come sorgente, si usa spesso una lampada ad arco in vapori di mercurio che emette con forte intensità in bande ristrette caratteristiche nello spettro UV e nella parte “blu” dello spettro ottico (in particolare, a 366, 406, 435 e 546 nm).

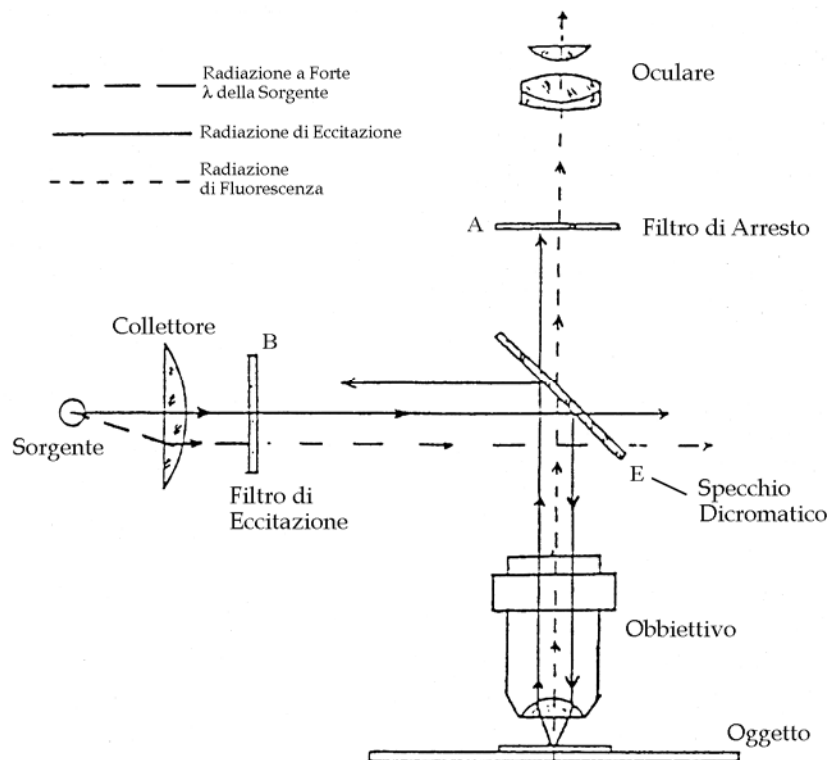


Fig. 179 - Schema di microscopio in fluorescenza.

Un’applicazione comune della fluorescenza è data dalle lampade “fluorescenti” in cui la

¹⁰³ Un antigene è una sostanza o una struttura vivente (microrganismo, parassita, ecc.) capace di suscitare le reazioni immunitarie di autodifesa in un organismo vivente, provocando la formazione di “anticorpi”. L’anticorpo è una specie di antibiotico naturale, una difesa biochimica che l’organismo mette in atto alla presenza di certi corpi estranei, che sono appunto gli antigeni.

massima emissione proviene da uno strato di materiale fluorescente che riveste internamente l'ampolla o il tubo di vetro. L'eccitazione di questo materiale può venire da una lampada a mercurio posta all'interno dell'ampolla (e qui si sfrutta l'emissione del mercurio nell'ultravioletto e l'elevato rendimento delle lampade ad arco) oppure da una scarica diffusa che si crea nel gas rarefatto all'interno della lampada applicando un'opportuna tensione fra due elettrodi posti alle estremità del tubo.

Le comuni lampade fluorescenti vengono utilizzate per produrre luce più o meno bianca, ma certe lampade sono progettate per emettere una radiazione complessa di colore all'incirca magenta (viola + rosso). Eliminando la parte centrale dello spettro ottico, queste lampade accentuano i colori più vivi degli oggetti, che corrispondono appunto agli estremi dello spettro (viola-blu / arancio-rosso); esse sono quindi usate nelle vetrine dei macellai o dei fiorai per far apparire la carne più rossa, i fiori più vistosi, ecc. L'ottica al servizio della frode. Guardando negli angoli nascosti di quelle vetrine, non è raro osservare dei tubi che emettono una luce violallilla invece che bianca.

La fluorescenza viene sfruttata in altre vetrine per far apparire alcuni oggetti luminosi, spesso a colori vivaci, su fondo scuro: la vetrina viene arredata con oggetti trattati con fluocromi e viene illuminata con "luce di Wood". La vetrina appare buia, ma sul fondo scuro spiccano gli oggetti con colori inusuali. La luce di Wood (o "luce nera") non è altro che radiazione ultravioletta ottenuta da lampade speciali, il cui bulbo è costituito da "vetro di Wood" all'ossido di nichel, trasparente all'UV ma opaco per la radiazione ottica. Poiché l'occhio umano è insensibile all'UV, tale radiazione non viene percepita, ma facilmente eccita la fluorescenza nello spettro ottico e rende visibili gli oggetti fluorescenti.

Altra applicazione della fluorescenza è la prospezione idrografica, cioè la ricerca del percorso dei corsi d'acqua sotterranei: specie nelle zone carsiche¹⁰⁴, certi corsi d'acqua vengono inghiottiti da condotte naturali ipogee e possono riaffiorare a grande distanza, magari dopo essersi suddivisi oppure dopo essersi riversati in altri. Per seguirne il percorso, si versa nel punto di sprofondamento una soluzione di fluorescina¹⁰⁵ e si cerca la fluorescenza in tutti i punti di affioramento sospetti; quello che mostra tracce di fluorescenza dimostra di trasportare, almeno in parte, le acque scomparse a monte.

Ancora un'applicazione della fluorescenza è nella rivelazione di manoscritti o firme falsificati, di banconote false, ecc. Si sfrutta la fluorescenza delle carte, degli inchiostri, ecc. Ne parleremo più sotto.

Per inciso, il fenomeno dell'emissione da fluorescenza o da risonanza ha qualcosa in comune con la "emissione stimolata" nei laser; infatti, i materiali usati come "mezzo attivo" nei laser sono spesso fluorescenti.

OSSERVAZIONI PRATICHE

Come accennato sopra, useremo come sorgente di UV una lampada reperibile a basso costo (catalogo della ditta E.D.-Elettronica didattica, CP 87, CAP 23898, IMBERSAGO, (LC), tel. 039-99 20 107; N° di catal. OT 0229). Si tratta di una piccola "lampada di Wood", usata normalmente per lo studio dei minerali fluorescenti e per il controllo delle banconote. Essa (fig. 180) è prevista per l'alimentazione con quattro pile "stilo" (formato AA). Per osservazioni di lunga durata senza avere l'ansia (e la spesa) delle pile scariche, si può alimentarla con un qualunque alimentatore in corrente continua (6 V=): se non è presente l'attacco apposito, basta aprire l'involucro e saldare due fili isolati ai terminali delle pile, come si vede in figura (filo rosso-nero sulla destra).

Gli oggetti fluorescenti che proporranno vanno posti più vicino possibile alla lampada, proteggendo gli occhi con un cartoncino dalla luce diretta della lampada.

Oggetti naturali fluorescenti, per fluorescenza primaria, possono essere certi dettagli di alcune conchiglie (fig. 181), certi minerali (fig. 182 e 183), organi vegetali (fig. 183 B), certi petroli, ecc.

Un caso di fluorescenza spontanea in natura può essere mostrato da certi fiori, come si vede

¹⁰⁴ Le zone carsiche, cosiddette dal Carso che ne è un esempio notevole, sono porzioni di territorio ricche di rocce solubili in acqua (calcare, gesso, ecc.) e quindi solcate in superficie ed in profondità da fessure, canali, imbuti, caverne.

¹⁰⁵ La fluorescina è un fluocromo verdastro, rivelabile anche in diluizioni elevatissime.

in fig. 184. La sorgente di UV in questi casi è il cielo (vedi anche le figg. 187 B e 189).

Numerosi sono invece i prodotti artificiali fluorescenti: il fosforo (fig. 185), certi lubrificanti, vari fluorocromi, come quelli addizionati agli inchiostri dei pennarelli “evidenziatori” (figg. 186 e 187) ed a certe vernici (fig. 187 B).

Chi riuscisse e procurarsi qualche fluorocromo, può crearne una soluzione diluita e con essa macchiare un cartoncino grezzo, non sbiancato (fig. 188).

Fig. 180

Lampada di Wood portatile coll'imballo originale ed un alimentatore in DC, 6 V.

La lampada è accesa, e la sua debole emissione nello spettro ottico ha impressionato la macchina fotografica facendo apparire il tubo di Wood con un colore violaceo.



Fig. 181

Conchiglia di un comune mollusco Bivalve dei nostri mari. Appaiono chiaramente le impronte dei muscoli “adduttori”, che consentono all’animale di avvicinare le due valve (le due grandi macchie verdognole), e la “linea palleale”, che segna il confine del “mantello”, cioè la piega cutanea che secerne la conchiglia (sottile linea chiara in basso). In alto, il “cardine” (non fluorescente) con le due serie di dentelli sui lati.



Fig. 182 e 183

Campioni di uraninite e di calcite.

In certi minerali, come la calcite, la fluorescenza può dipendere non tanto dal componente principale (carbonato di calcio nel caso nostro), ma da piccole impurezze di altri minerali. Tali impurezze sono caratteristiche di certi giacimenti e possono consentire di rivelare l’origine di un campione di ignota provenienza.

I minerali dotati di apprezzabile fluorescenza sono una minoranza, ma può valer la pena di tenere una lampada UV vicino ad ogni collezione per affinare il riconoscimento di certi campioni.

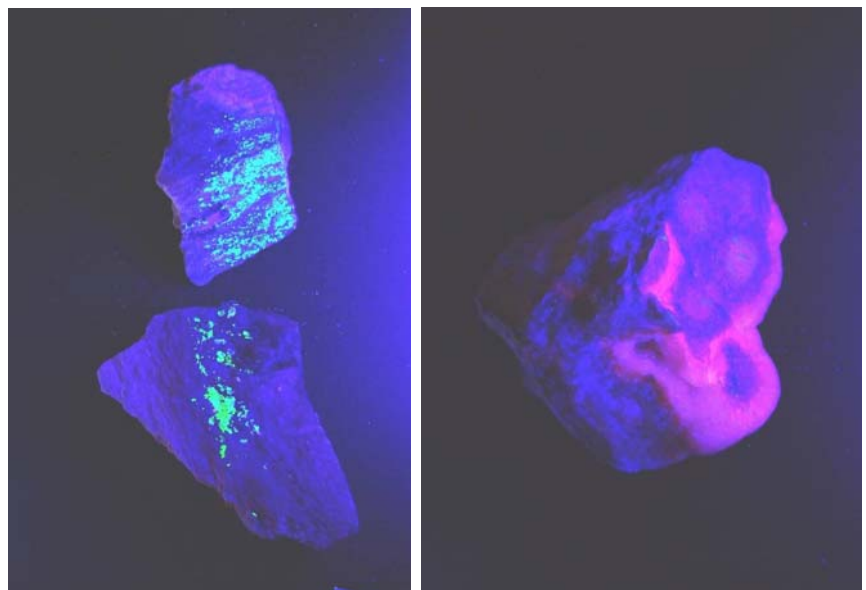


Fig. 183 B - Due pezzi di corteccia di larice (superfici di taglio interne). Sull'orlo del pezzo superiore, un lichene polverulento (*Calycium*). In luce bianca, la corteccia appare color ruggine ed il lichene verdognolo. In UV, la corteccia appare violacea ed il lichene rosato.



Fig. 184 (a destra)

Panorama di colline con cielo molto nuvoloso.

Si osservi bene: abbiamo un oggetto illuminato (il campo, pieno di fiori di Crocifere) ed una sorgente (il cielo: non vi sono lampioni). Ebbene, un oggetto illuminato non può essere più luminoso della sorgente che lo illumina. Eppure, i fiori appaiono più brillanti del cielo. Perché?

Succede che il cielo nuvoloso irradia fortemente nell'UV, e sarebbe quindi più luminoso del terreno. Però il nostro occhio non è sensibile all'UV e ci fa vedere il cielo scuro. Invece i fiori, che contengono abbondanti pigmenti gialli, sono fluorescenti, e trasformano una parte dell'irraggiamento UV in luce "visibile". Alla fine, essi ci appaiono più luminosi del cielo, ma ciò è vero solo nello spettro ottico.

Vedi anche la didascalia della fig. 186, 187 B e 189.

Da: C. Zeiss - Ein Lichtjahr, 1999, 4. Modif.



Vari fluocromi vengono incorporati in molti oggetti di plastica per renderli più appariscenti (fig. 189); in condizioni normali, questi oggetti vengono "eccitati" dalla componente ultravioletta contenuta nella luce del giorno e la radiazione di fluorescenza si aggiunge a quella della normale illuminazione, rendendo questi oggetti delle deboli sorgenti di luce. Molti anni fa, erano di moda i parabrezza dei ciclomotori in plastica fluorescente verde.

Fig. 185

Polvere di fosforo che è stata fatta aderire ad un cartoncino a mezzo di una goccia di vernice trasparente. In basso, si vede in parte il tubo della lampada di Wood.

Il fosforo non è tanto fluorescente, quanto piuttosto fosforescente: la sua luminescenza dura molti secondi dopo aver allontanato la lampada. Materiali fosforescenti vengono usati per rendere visibili di notte alcuni oggetti (lancette di orologi, interruttori di lampade, margini di scalini, ecc.). Esistono a questo scopo dei nastri adesivi o dei fogli fosforescenti, ritagliabili colle forbici.

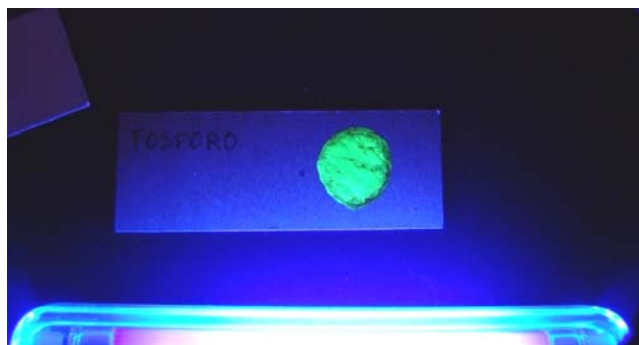
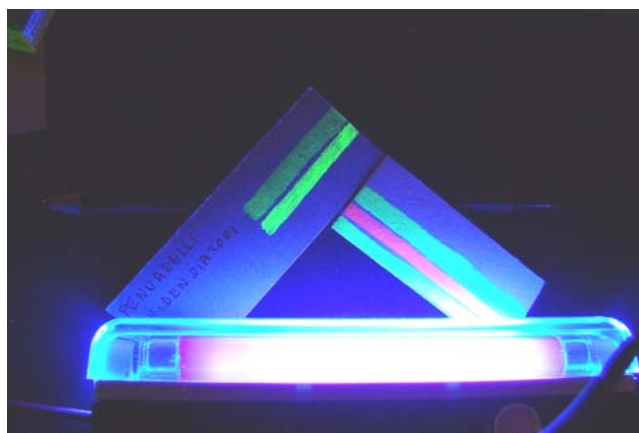


Fig. 186

Su due pezzi di cartoncino sono state tracciate delle righe con pennarelli "evidenziatori", di vario colore. Qui, sono illuminati dalla lampada di Wood, ma, esposti alla luce del giorno, sotto l'influenza della radiazione UV presente in quella, questi inchiostri possono produrre una luce di fluorescenza che li rende più "luminosi". La carta colorata con questi pennarelli può quindi apparire più brillante di quella normale: alla luce diffusa dalla carta si aggiunge quella di fluorescenza.



Altri fluorocromi, come il classico "leucoforo", vengono addizionati a molti detersivi per bucato ed ai bagni di sbiancatura della carta e del cartone. Si tratta ancora una volta di un piccolo trucco: la carta e molte stoffe sarebbero di per sé piuttosto giallastre, ma l'occhio gradisce il "bianco più bianco del bianco". Che fare?

Fig. 187

Cartoncino scritto con un pennarello evidenziatore fine, ed esposto alla lampada di Wood.

Si badi bene: il cartoncino usato per le foto da 185 a 188 e 190 deve essere grigio, non sbiancato, per le ragioni spiegate nel testo.

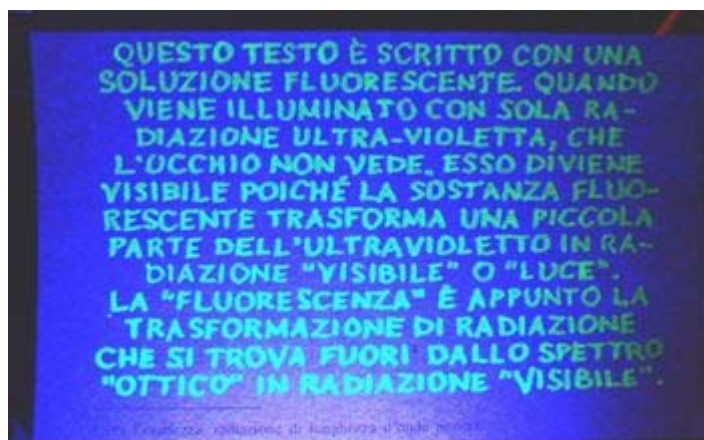


Fig. 187 B

Queste schegge di legno, provenienti da un paletto di segnalazione di un sentiero alpino, erano state spruzzate con una vernice spray fluorescente. La foto è stata ripresa all'aperto, in penombra, ma la componente UV della luce del giorno è sufficiente a rendere le schegge luminescenti come una lampadina. In questo caso, il "rendimento di conversione" della fluorescenza è altissimo.

La foto non rende bene la brillantezza dei colori: all'occhio, essi appaiono veramente "luminosi".



Fig. 188

Certi fluocromi, quasi invisibili in luce ordinaria (sopra), divengono luminescenti se illuminati in UV (sotto). In particolare, il solfato di berberina, nel cartoncino superiore, appare quasi privo di colore in luce bianca, ma appare di un bel giallo-verde con la lampada di Wood.

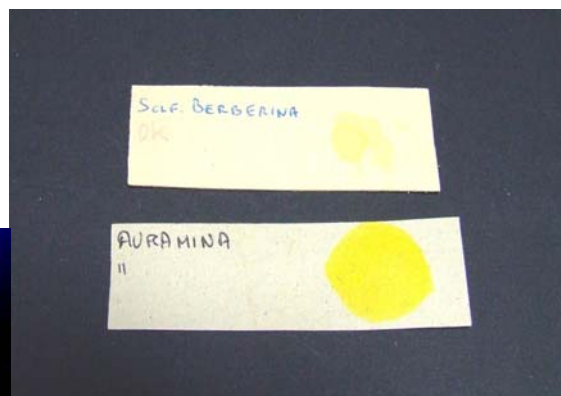
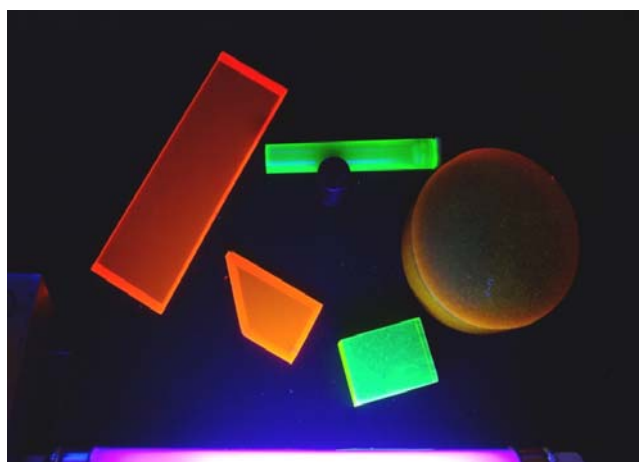


Fig. 189

Vari oggetti in plastica addizionata con fluocromi. All'aperto, anche in questi casi, si sfrutta la fluorescenza eccitata dalla componente UV della luce del giorno. Questi oggetti possono sembrare quasi auto-luminosi, specialmente quando il tempo è nuvoloso e la luce del sole è attenuata: la luce diffusa dalle nubi contiene sempre molto UV, ed è più bluastra di quella diretta del sole.

Davanti al tubetto verde, in alto, si è posto un cilindretto metallico che "fa ombra"; quest'ombra è denunciata da una diminuzione di luminosità nella parte centrale del tubetto.

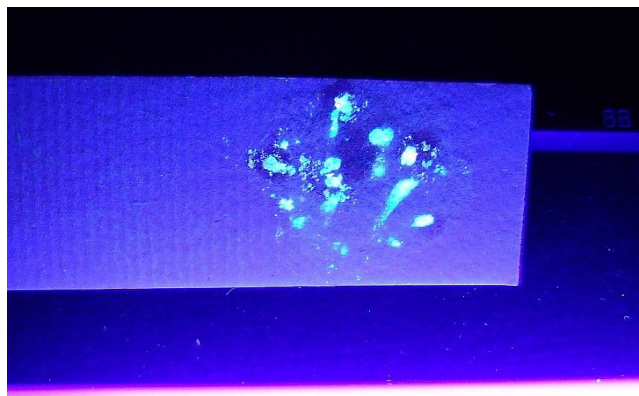
In basso, anche qui, si vede l'orlo del tubo della lampada.



Ancora una volta, si sfrutta la componente UV della complessa radiazione del sole, e soprattutto delle nuvole e del cielo sereno: è facile constatare che all'ombra, sia con cielo sereno che nuvoloso, gli oggetti sembrano un po' bluastrì. La ragione è semplice: la luce del cielo contiene percentualmente più UV della luce diretta del sole a causa della diffusione operata dall'aria, che è maggiore con le lunghezze d'onda minori. Ciò premesso, i produttori aggiungono ai detersivi, od ai bagni cui è sottoposta la carta, un fluocromo che produce una luce bluastra: esposti alla luce del giorno, i panni lavati con quei detersivi o le carte così trattate producono una luce tendente al blu la quale, sommandosi al fondo giallo naturale del cotone o della cellulosa, dà l'impressione del bianco. Si copre la magagna.

Fig. 190

Cartoncino grezzo inumidito, su cui è stata spalmata una piccola quantità di un detersivo in polvere. Ogni granello della polvere appare luminoso davanti alla lampada di Wood a causa dell'aggiunta di un fluocromo, capace di produrre un'intensa luminescenza bluastra. Così qualunque stoffa, anche lavata male e giallastra, appare "più bianca del bianco". Un modo come un altro di ingannare l'occhio (ed il cliente).



Naturalmente, il trucco non funziona se il bucato è esposto ad una lampada normale, generalmente povera di UV. Infatti, i fabbricanti di certi detersivi suggerivano alle massaie la

“prova finestra”: esporre il bucato alla luce del giorno per eccitare la fluorescenza del fluocromo. Alla luce artificiale, il fenomeno sarebbe impercettibile.

Fig. 191

Un pezzo di cartoncino sbiancato (a sinistra) ed uno grezzo, non sbiancato, per imballaggi, che alla luce del giorno appare grigio (a destra). Davanti alla lampada UV, il primo appare bianco-bluastro, mentre il secondo appare quasi nero poiché non produce fluorescenza. Ecco perché, tutte le volte che si è usato del cartoncino (figure da 185 a 188 e 190), si è specificato “grezzo, non sbiancato”.



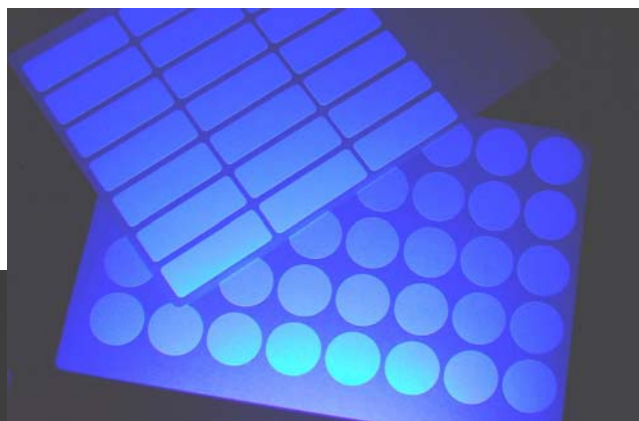
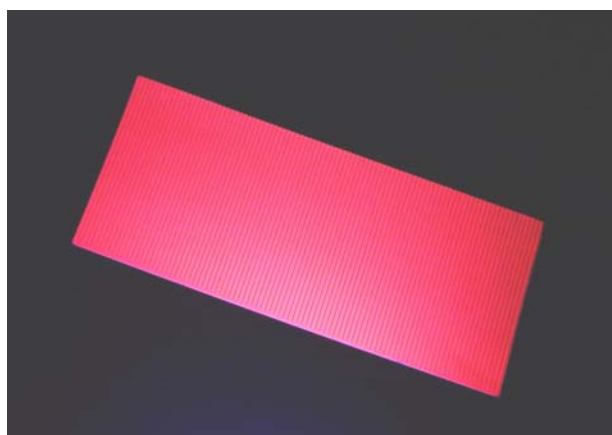
La carta od il cartone non trattati appaiono allo stesso modo con un colore indefinito, fra il giallastro ed il grigio mentre, dopo certi trattamenti, appaiono candidi (fig. 191 e 192).

E del resto è noto che i capi di biancheria od i fogli di carta, col passare degli anni, tendono ad ingiallire, specialmente nelle parti esposte alla luce. La ragione è che, col tempo, i fluocromi, soprattutto per azione della luce, tendono a decomporsi, essendo chimicamente instabili. Ed il trucco della sbiancatura con fluocromi non funziona più.

Fig. 192

Anche le etichette auto-adesive sono di solito rese “più bianche del bianco” con l’aggiunta di un fluocromo ad emissione bluastra.

Certi prodotti cartacei, come il cartone rosso qui sotto, vengono anch’essi trattati con fluocromi per rendere il loro colore più brillante.



Per quanto riguarda le banconote, al fine di rendere la loro falsificazione molto difficile, si usano ancora fluocromi, distribuiti secondo disegni particolari. Non è raro vedere nelle banche o nei negozi una macchinetta sul banco del cassiere, nella quale vengono rapidamente passate le banconote offerte dal cliente. Si tratta in sostanza di una piccola lampada di Wood, simile a quella che abbiamo descritto in fig. 180. Un occhio esperto può rilevare le irregolarità nell’emissione di fluorescenza (figg. 193 e 194), ma nulla vieta di automatizzare l’apparecchio in modo che appositi sensori od una telecamera possano inviare i dati dell’immagine ad un processore e questo possa rapidamente confrontare la banconota in esame con i modelli normali.

Fig. 193 - Ecco una banconota osservata al buio, irradiata con luce UV di diversa intensità. Oltre a piccoli segmentini fluorescenti disposti senza ordine, appaiono delle vere e proprie zone geometricamente regolari.

In alto, si vede l'orlo della lampada di Wood.



Fig. 194

Anche il retro della banconota riporta dei disegni fluorescenti, invisibili con illuminazione normale, e difficili da contraffare.



Rimane da chiarire un piccolo dettaglio teorico.

Nelle esperienze descritte nei testi da O1 ad O7, si sono spiegati vari fenomeni legati alla rifrazione ed alla riflessione; si sono usati concetti geometrici come “raggio”, “angolo di rifrazione o riflessione”, ecc. La luce, e la radiazione elettromagnetica in genere, sono state descritte con criteri geometrici (il “raggio” è una retta, ad es.), e tanto bastava. È quella la cosiddetta “ottica geometrica”.

Nei testi da O 8 ad O 10, invece, sono stati illustrati fenomeni che non sarebbero spiegabili con concetti geometrici. Per es., le frange di diffrazione sono inspiegabili considerando semplici “raggi” che si propagano come segmenti di retta. Abbiamo dovuto adottare un concetto “ondulatorio”, ed anche questo (speriamo) è stato sufficiente per dare ragione di frange, interferenze, polarizzazione, ecc.

Invece i fenomeni di fluorescenza (ed altri, che non proponiamo perché difficili da realizzare con mezzi semplici), richiedono un approccio ancora diverso.

In particolare, succede che, nel suscitare la fluorescenza di un certo materiale, non basta irradiarlo con una qualunque radiazione. È ben vero che l'emissione di fluorescenza ha un'intensità, entro certi limiti, proporzionale all'intensità del fascio di eccitazione. Però occorre ANCHE che quest'ultimo contenga radiazioni di lunghezza d'onda inferiore ad un certo limite.

Abbiamo già citato la legge di Stokes secondo cui, di solito, il corpo fluorescente va eccitato con una lunghezza d'onda inferiore a quella poi emessa. Ma c'è un limite (per la lunghezza d'onda) al di sopra del quale la fluorescenza non avviene per niente, qualunque sia l'intensità del fascio eccitante. Non è dunque questione soltanto di energia o dell'energia totale che incide sul

corpo fluorescente: dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione eccitante.

Ricordiamo intanto che $v \lambda = c$

in cui v = la frequenza della radiazione, λ = la lunghezza d'onda della stessa, e c = la velocità della luce. Poiché c è costante (= circa 300.000 Km/sec nel vuoto e, sensibilmente, nell'aria), ne consegue che v e λ sono inversamente proporzionali.

Dalla nota 100 (pag. 101, la prima del presente articolo), risulterebbe ad una frettolosa lettura che l'energia di una radiazione è proporzionale a v (a parte la costante di Planck, h). Ma allora, per una data frequenza v della radiazione eccitante, per ottenere la fluorescenza basterebbe aumentare l'intensità del fascio. Ma, abbiamo visto, non è così. Occorre che v sia eguale o superiore ad un valore, che varia da caso a caso.

La sola spiegazione possibile è che la radiazione elettromagnetica, e quindi la luce, sia costituita da "pacchetti", da treni d'onda di lunghezza più o meno definita, e che l'energia del singolo pacchetto sia proporzionale a v . Dunque, per suscitare la fluorescenza, occorre che l'energia di ogni pacchetto sia superiore ad una certa soglia (che dipende dal corpo fluorescente), quindi occorre che anche la frequenza v sia superiore ad una certa soglia, e quindi che la lunghezza d'onda sia inferiore alla soglia corrispondente.

Questi "pacchetti" rappresentano dunque la "dose" fissa secondo cui viene emessa la luce, per granelli si direbbe: sono i famosi "**quanti**" (termine generico) o "**fotoni**" (termine usato in particolare per tutte le radiazioni elettromagnetiche).

Aumentare l'intensità di un fascio significa aumentare solo il numero dei fotoni che fluiscono in esso nell'unità di tempo, ma per provocare certi fenomeni, come la fluorescenza, l'effetto fotoelettrico, ecc., occorre che il singolo fotone trasporti una dose d'energia sufficiente. In caso contrario, il loro numero non conta. Inutile aumentare l'intensità.

Così, per spiegare la fluorescenza ed altri fenomeni, occorre aggiungere al concetto di raggio geometrico e di onda, il concetto di struttura "granulare", o, come dicono i fisici, "discreta", non "continua", della radiazione.

Questa visione "quantistica" della radiazione elettromagnetica, e della luce in particolare, non deve indurci a ritornare alla teoria "corpuscolare" della luce, introdotta da I. Newton, che prevedeva la luce come un flusso di particelle solide. Con una radiazione fatta di palline non si spiegherebbe la diffrazione, l'interferenza, la polarizzazione, ecc. Occorre far coesistere nella nostra mente il concetto di raggio, di onda e di quantità finita di energia (il fotone).

Per curiosità, citiamo un brano tratto da una nota enciclopedia informatica, che si riferisce ad un altro fenomeno quantistico, l'emissione o "effetto" fotoelettrico. Su di esso abbiamo sorvolato per difficoltà di reperimento dei materiali necessari.

"L'effetto fotoelettrico era noto dal 1880: si sapeva che la luce poteva far emettere elettroni ad una superficie metallica, producendo una debole corrente. La teoria ondulatoria classica prevedeva però che, all'aumentare dell'intensità della luce incidente, aumentasse l'energia degli elettroni emessi. Nel 1902, il fisico tedesco Philipp Lenard mostrò invece che l'energia posseduta dai fotoelettroni non dipendeva dall'intensità di illuminazione, ma unicamente dalla frequenza (o, equivalentemente, dalla lunghezza d'onda) della radiazione incidente. L'intensità della radiazione, al contrario, determinava l'intensità della corrente, ovvero il numero di elettroni strappati alla superficie metallica. Il risultato sperimentale era inspiegabile ammettendo che la natura della luce fosse unicamente ondulatoria."

(Da: Microsoft ® Encarta ® 2007. © 1993-2006 Microsoft Corporation. Tutti i diritti riservati.)

In realtà, l'effetto fotoelettrico è assai debole nel caso dei comuni metalli. Esso trova applicazione pratica usando materiali semiconduttori. Rimane il fatto che esso si presenta, per ogni dato materiale, solo per una lunghezza d'onda al di sotto di un certo limite. Nella maggioranza dei metalli, questo limite si trova nella regione UV; solo per i metalli alcalini si trova nel visibile ed eccezionalmente (Cesio) nell'infrarosso.