



## La doppia luminescenza dei Centri di Colore

Un esperimento sulla luminescenza dei Centri di Colore (CCs) effettuato nel 1987 nei Laboratori ENEA di Frascati ebbe esito negativo, ma indagini successive hanno mostrato che non si trattava di un fallimento ma della scoperta di un nuovo fenomeno. Sin dall'avvento dei laser, i CCs negli alogenuri alcalini erano stati utilizzati con successo come materiali otticamente attivi, in particolare i Centri FA. Uno di questi centri, ben noto per la sua emissione laser nel medio infrarosso a 77 K, portato alla temperatura di 2 K emetteva però nel vicino infrarosso e senza effetto laser. Ulteriori indagini hanno mostrato che la doppia luminescenza era una proprietà fondamentale allora ignota. Questo importante risultato fu reso possibile a Frascati dalla esistenza sin dal 1973 di solide e ampie competenze nel campo dei CCs, che sono continuate nel tempo e infine applicate ai moderni dispositivi miniaturizzati fotonici

DOI 10.12910/EAI2015-090

■ G. Baldacchini

Il 20 febbraio 1987 era in corso un'esperienza in uno dei laboratori dell'edificio n. 10, SUD-1, del Centro ENEA di Frascati [Nota 1]. Era intenzione dei ricercatori presenti [Nota 2] studiare le proprietà ottiche del Centro  $F_A(II)$  nel cristallo  $RbCl:Li$  alla temperatura dell'elio liquido. A quel tempo, c'erano essenzialmente due modi per lavorare a basse temperature: utilizzare il vecchio e collaudato sistema dei criostati con elio liquido oppure i più moderni criogeneratori. Nel primo caso, il campione da studiare era immerso nell'elio liquido al di sotto della temperatura superfluida  $T_\lambda = 2,17$  K, mentre nel secondo, il campione veniva attaccato nel vuoto a un dito metallico raffreddato dalla temperatura ambiente (RT) fino a circa 10 K. Nel nostro caso, poiché le precedenti misure in  $RbCl:Li$  erano già state effettuate con un criogeneratore, si optò necessariamente per l'elio liquido, e quindi venne usato un criostato costruito all'ENEA [1].

Queste esperienze iniziavano il giorno prima con il montaggio e raffreddamento del campione con azoto liquido, e finalmente al mattino seguente si trasferiva elio liquido. Si pompava poi sull'elio liquido per ridurne la temperatura, e l'esperienza vera e propria iniziava nel pomeriggio e proseguiva fino a esaurimento dell'elio liquido, spesso fino all'alba del giorno dopo. Quel mattino, il campione era stato controllato otticamente a 200 K e la sua luminescenza misurata intorno a  $2,9 \mu m$ , dove era prevista. Quando nel tardo pomeriggio si misurò di nuovo la luminescenza, con grande sorpresa essa era sparita. Si controllarono allora il sistema elettronico, l'allineamento ottico-geometrico, e altri dettagli sperimentali, ma senza alcun risultato. Ben dopo la mezzanotte i partecipanti si dichiararono sconfitti e decisero di terminare l'esperimento, che richiedeva ancora alcune ore di diverse procedure standard di laboratorio per collegare il criostato al sistema di recupero del gas elio [Nota 3].

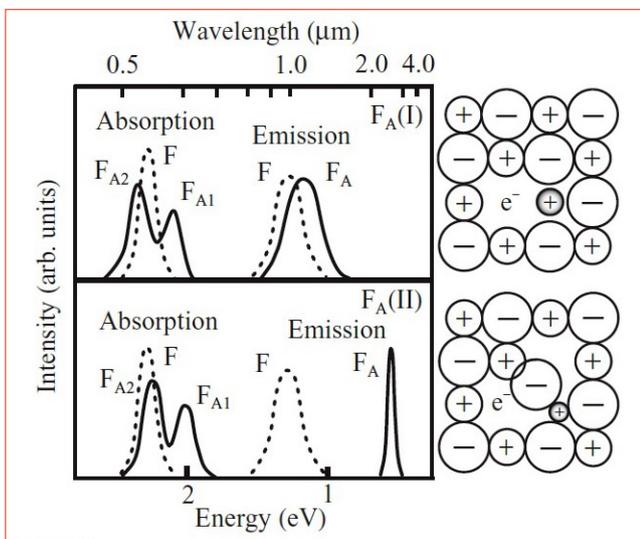
In pratica, dopo tre giorni di lavoro tutti i partecipanti tornarono a casa convinti di un fallimento totale, ma non sapevano ancora che erano solo all'inizio di una nuova e importante scoperta scientifica che avrebbe cambiato le conoscenze sui Centri di Colore (CCs).

Contact person: Giuseppe Baldacchini  
giuseppe.baldacchini@gmail.com

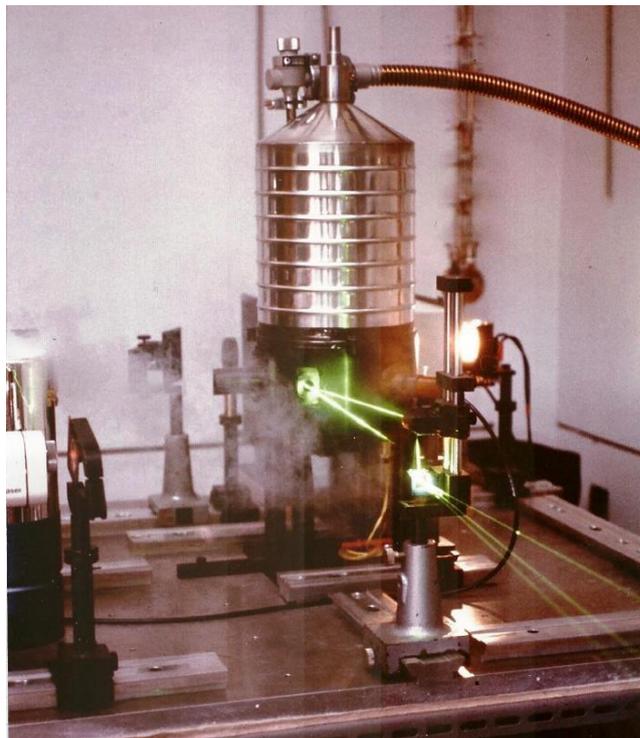


Ioni, atomi, molecole, lacune di atomi o ioni, e altre imperfezioni localizzate distruggono l'ordine di una struttura cristallina perfetta, e per questa ragione vengono chiamati Difetti Puntiformi. Tra essi, i CCs negli alogenuri alcalini vennero scoperti per caso nella metà del 19-imo secolo, e furono i primi ad essere studiati sistematicamente [2]. Tra le loro numerose proprietà, il ciclo ottico è quello che più li caratterizza. Infatti quando un cristallo li contiene, esso appare colorato dal rosso al blu a seconda del tipo di cristallo. Questo colore deriva dall'assorbimento della luce da parte del cristallo, che assume quindi il colore complementare: ma il processo ottico continua con la generazione di luminescenza nel vicino-medio infrarosso che è tanto più efficiente quanto più bassa è la temperatura [3].

Tra i CCs, i Centri  $F_A$  occupano una posizione particolare perché sono generati quando un Centro F (una lacuna con un elettrone) e una impurità si legano tra di loro, un sistema piuttosto semplice. Ma, a causa dei gradi di libertà di questi due costituenti elementari nel reticolo cristallino, esistono due tipi di Centri noti come  $F_A(I)$  e  $F_A(II)$  [4] [5], e le loro proprietà ottiche sono descritte in Figura 1, che riporta assorbimenti ed emissioni nel



**FIGURA 1** A sinistra, spettri di assorbimento ed emissione a 4 K dei Centri F, linea tratteggiata, dei Centri  $F_A(I)$  in KCl:Na, linea continua in alto, e  $F_A(II)$  in KCl:Li, linea continua in basso. A destra è riportata la corrispettiva configurazione ionica dei Centri  $F_A$



**FIGURA 2** Il laser a CCs, soprannominato LACECO, funzionante a Frascati a partire dall'estate del 1979. Il fascio verde è la riga a 514,5 nm di un laser ad Argon che pompa una cavità a tre specchi nel cui fuoco c'è il cristallo KCl:Li con i Centri  $F_A(II)$ . Il fascio laser a 2,7  $\mu\text{m}$  esce a sinistra perpendicolare a quello di pompa e non è visibile perché infrarosso. Foto ENEA Frascati N.79-021-03 scattata e/o riprodotta da Fiorenzo Pepi il 13/01/1983

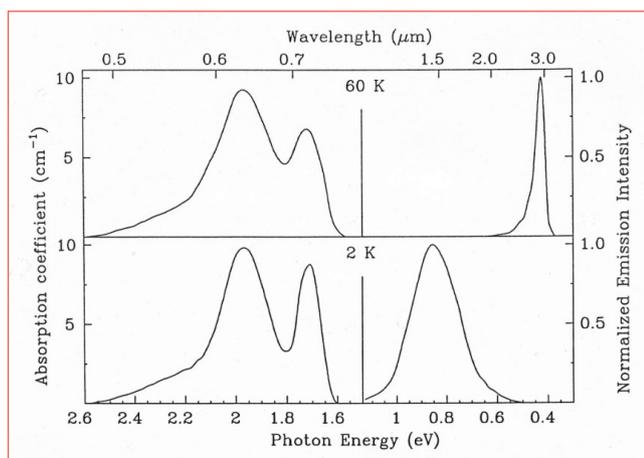
caso del cristallo KCl. Si nota che, mentre l'assorbimento è circa lo stesso nei Centri F,  $F_A(I)$  e  $F_A(II)$ , l'emissione è molto diversa. Questa differenza, che a prima vista potrebbe sembrare secondaria, si è poi dimostrata di grande importanza nel campo dello sviluppo laser. Infatti, i Centri F e  $F_A(I)$  non sono in grado di emettere radiazione laser, mentre i Centri  $F_A(II)$  lo sono e con grande efficienza, e in aggiunta sono continuamente accordabili [6]. Sebbene questi laser richiedano una temperatura inferiore a RT, il semplice fatto di essere gli unici accordabili con altissima risoluzione spettrale, li ha resi insostituibili nella spettroscopia molecolare [7], e nello sviluppo delle telecomunicazioni [8].

Anche Frascati ha partecipato allo sviluppo di questi laser, e la Figura 2 mostra un prototipo realizzato nell'estate del 1979 in collaborazione con le Università di Roma e Pisa, e a quel tempo l'Italia era il terzo paese al mondo dopo USA e Germania a possederne uno. Il laser vero e proprio era contenuto nelle parte bassa del cilindro nero, mentre la parte alta in acciaio lucido bombato conteneva un criostato ad azoto liquido in grado di mantenere il cristallo attivo alla temperatura di 77 K per circa 40 ore. I laser a CCs sono stati utilizzati fino al 2000 circa, quando arrivarono i diodi laser a semiconduttori che avevano prestazioni altrettanto buone e in aggiunta lavoravano a RT. Quindi, fino al 2000 circa gli studi sui CCs erano ancora molto attivi, sia per scoprirne di nuovi che per migliorare l'efficienza ottica di quelli già noti. E proprio questo ultimo era il caso dei Centri  $F_A(II)$  in RbCl:Li, le cui proprietà erano state studiate fino alla temperatura di 4 K, con la conclusione che fossero Centri  $F_A(II)$  con il picco di emissione a  $2,89 \mu\text{m}$  [4]. In pratica, fino al 1987 il loro ciclo ottico era descritto dalla parte superiore della Figura 3, dove si osserva a sinistra il tipico assorbimento a due bande del Centro  $F_A$  e a destra l'emissione tipica dei Centri  $F_A(II)$ . A questo punto si deve aggiungere che, sebbene fossero stati pubblicati i dati sperimentali alla temperatura dell'elio liquido, non erano però stati riportati gli spettri sperimentali di assor-

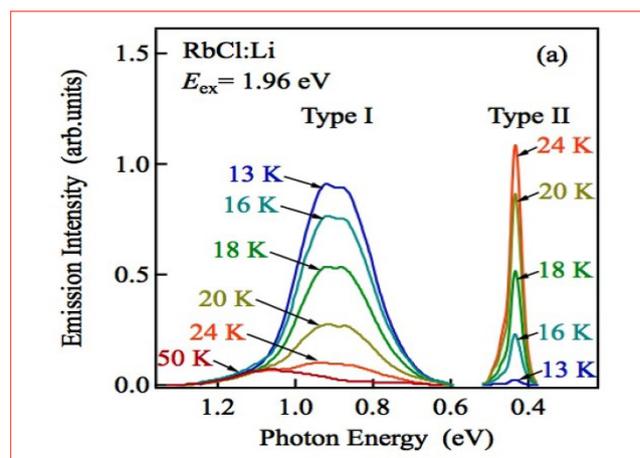
bimento ed emissione. E proprio questa mancanza era la ragione dell'esperienza del 20 febbraio, e quindi si può immaginare la sorpresa quando, raggiunta la temperatura di circa 2 K, non si riuscì ad osservare alcuna luminescenza a  $2,89 \mu\text{m}$ !

Ancora nella confusione e contraddizione di questo risultato inaspettato, l'esperienza venne ripetuta con un nuovo campione il 25 febbraio, ma i risultati furono gli stessi di quella precedente. A questo punto, essendo l'emissione a  $2,89 \mu\text{m}$  già stata data per certa da altri, si ipotizzò una possibile contaminazione del nostro cristallo da impurità, e si decise quindi di crescere nuovi cristalli partendo da componenti purissime. Ciò venne fatto dal prof. Augusto Scacco e il tecnico Carlo Sanipoli, e una misura eseguita il 29 giugno diede lo stesso risultato delle precedenti, per cui si prese seriamente in considerazione un possibile errore nei dati già pubblicati [4].

Allora, si programmarono esperimenti mirati, che vennero eseguiti a Frascati il 10 e 15 dicembre. Essi rivelarono per la prima volta a 2 K una emissione a  $1,46 \mu\text{m}$ , vedi la Figura 3 in basso a destra, che aveva tutte le caratteristiche dei Centri  $F_A(I)$  come già osservate in KCl, vedi Figura 1, e non c'era alcuna traccia di emissione a  $2,89 \mu\text{m}$ ! Inoltre, si osservò che la nuova emissione a  $1,46 \mu\text{m}$  diminuiva fino a sparire del tutto sopra i 30 K, mentre contemporaneamente la vecchia emissione a



**FIGURA 3** Spettri di assorbimento ed emissione dei Centri  $F_A$  in RbCl:Li a 60 e 2 K, rispettivamente. La misura a 60 K è stata eseguita presso l'Università di Roma Tor Vergata, mentre quella a 2 K presso il Centro ENEA di Frascati



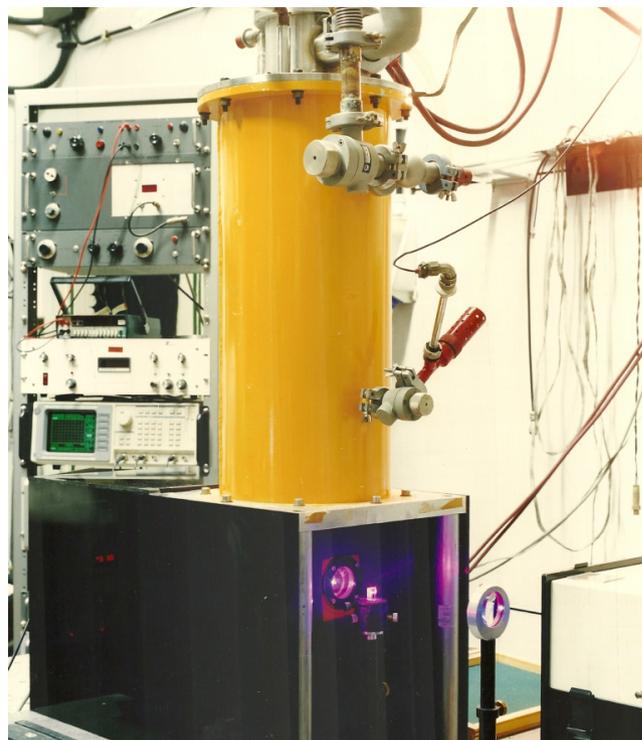
**FIGURA 4** Spettri di emissione dei Centri  $F_A$  in RbCl:Li a diverse temperature eccitati dalla riga 632,8 nm di un laser He-Ne. Le due luminescenze sono complementari rispetto alla temperatura, che implica un'origine comune

2,89  $\mu\text{m}$  riappariva fino ad essere dominante. In pratica, si era in presenza di un fenomeno nuovo che andava studiato in dettaglio, e numerosi esperimenti furono allora eseguiti presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma Tor Vergata nel 1988, utilizzando un criogeneratore ottico.

La Figura 4 riporta la emissione di questo cristallo eccitato dalla riga a 632,8 nm di un laser He-Ne a diverse temperature al di sotto di 50 K, e si osserva che mentre la banda di emissione a 2,89  $\mu\text{m}$  diminuisce col diminuire della temperatura, quella a 1,46  $\mu\text{m}$  aumenta in modo complementare [9].

La doppia luminescenza ha mostrato che i Centri  $F_A$  in RbCl:Li sono di tipo I alla temperatura dell'elio liquido e II alla temperatura dell'azoto liquido. Le implicazioni di questa reversibilità termica del Centro  $F_A$  furono subito evidenti sia dal punto di vista applicativo che fondamentale. Infatti, questi CCs erano utilizzati per emissione laser alla temperatura dell'azoto liquido, ma non potevano più esserlo a quella dell'elio liquido. Allora, per verificare se questa proprietà inusitata fosse appannaggio solamente del RbCl:Li, si iniziò uno studio sistematico, e nel 1993 si ottennero risultati analoghi in KF:Na [10]. In aggiunta, i CCs in questo nuovo cristallo si dimostrarono complessi al punto che furono scoperte numerose emissioni dipendenti dalla temperatura, tra queste una rossiccia talmente intensa da illuminare il laboratorio attraverso la piccola finestra del DOM, come riportato in Figura 5.

I risultati ottenuti in RbCl:Li e KF:Na hanno dimostrato che i Centri  $F_A$  non potevano essere distinti in tipo I e tipo II solo in base al cristallo ospitante e lo ione ospitato, come era fino ad allora, ma anche la temperatura giocava un ruolo fondamentale. Senza entrare nei dettagli di questa scoperta, essa suggerì che il ciclo ottico dei Centri  $F_A$  poteva essere descritto da un modello unico in cui l'eccitazione e il rilassamento elettronico conducono alla configurazione di tipo I o, attraverso una transizione assistita termicamente, alla configurazione di tipo II [9] [11]. Questo modello era giustificato dai dati sperimentali, ma non era in grado di affermare con sicurezza se il rilassamento procedesse prima sul potenziale di tipo I e poi su quello di tipo II. Questa controversia è stata finalmente risolta nel 2012 a seguito di una fruttuosa collaborazione italo-giapponese [12], nella quale la sequenzialità dei due rilassamenti è stata dimostrata sperimentalmente.



**FIGURA 5** Il criostato DOM (Dewar Ottico Magnetico) venne costruito nel 1975 per eseguire esperienze ottiche e dicroiche a campi magnetici variabili fino a 8,5 T. Venne poi utilizzato nel corso degli anni per numerose esperienze, e tra il 1993 e il 1999 anche per studiare le intense emissioni dei CCs in KF:Na. Si nota in particolare la luce rossiccia da una delle sue finestre. Foto ENEA Frascati N.950310301 scattata e/o riprodotta da Sergio Ciarlo

La ricerca sui CCs a Frascati è iniziata nel 1973, dopo che l'autore era tornato da una lunga permanenza negli Stati Uniti d'America, presso l'Università della California a Berkeley, reiterata nel 1977 presso l'Università dello Utah a Salt Lake City. Poi negli anni seguenti è proseguita a Frascati con tale successo da dare origine alla cosiddetta "Scuola Italiana dei Centri di Colore", che si basava essenzialmente sul sodalizio di Giuseppe Baldacchini (ENEA Frascati), Umberto Maria Grassano (Università di Roma Sapienza prima e Tor Vergata poi) e Augusto Scacco (Università Sapienza), e più tardi di Fabrizia Somma (Università Sapienza).

Questo lavoro si riferisce alla scoperta inaspettata, ma non casuale, di una nuova emissione luminosa che ha cambiato per sempre la descrizione dei Centri  $F_A$ . In effetti, era stato trovato un fenomeno di doppia luminescenza dipendente dalla temperatura. In aggiunta, contrariamente a quello che avviene per gli altri CCs, tutti i Centri  $F_A$  posseggono questa nuova potenzialità di una doppia emissione, che quindi è una proprietà di carattere fondamentale.

I Centri  $F_A$  che operano a basse temperature si sono dimostrati un campo fertilissimo di nuove scoperte scientifiche sia fondamentali che applicative, e la ricerca sui CCs nei cristalli è continuata intensamente fino al 1990

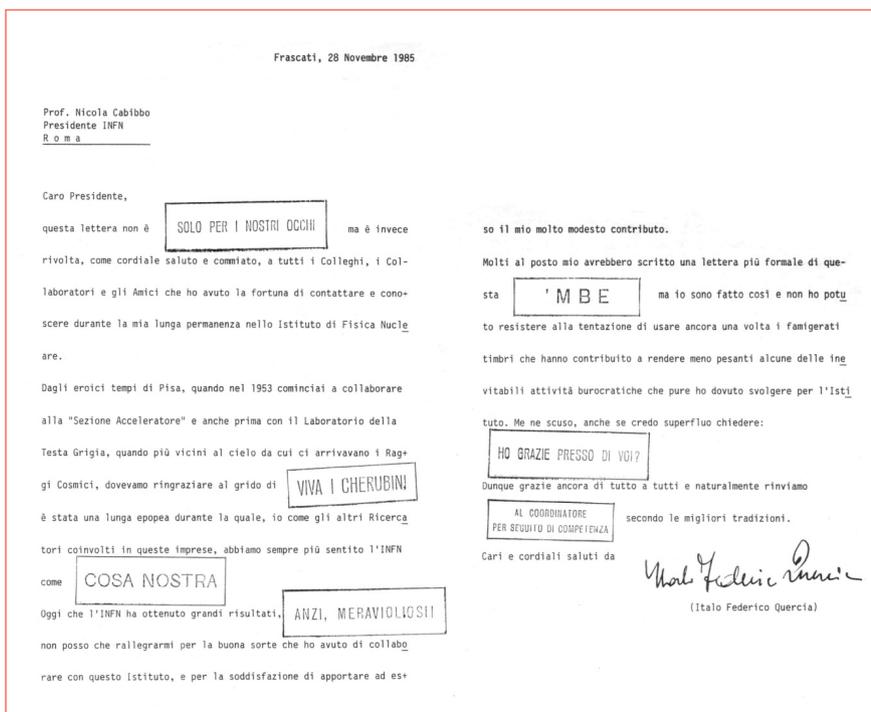
circa, quando fu evidente che nuove tecnologie stavano emergendo prepotentemente. Allora, le vecchie conoscenze sono state trasferite al nuovo campo della nanotecnologia e fotonica. Gli inizi sono stati timidi [13], ma i risultati raggiunti in anni di lavoro sistematico con i CCs in LiF [14, 15], hanno premiato questa scelta, e oggi la modesta linea di ricerca, che era nata come una costola della "Scuola Italiana dei Centri di Colore" con l'inserimento di Rosa Maria Montereali nel 1988, è un punto di riferimento in Italia e nel mondo per i dispositivi optoelettronici miniaturizzati [16, 17] e altro [18] [Nota 4]. E tutto è iniziato per un seme gettato con passione circa 50 anni fa in un ambiente molto ricettivo come quello del

Laboratorio Criogenico [Nota 5]. Infatti, non ci sarebbe stato nulla di quanto raccontato se non fosse stata concessa sin dall'inizio una certa libertà di ricerca personale, sempre all'interno degli ambiti istituzionali del CNEN prima ed ENEA dopo, per la quale sono ancora da ringraziare i Direttori del Centro [Nota 6], del Dipartimento e dei singoli Laboratori, e in ultima analisi le Direzioni dell'Ente nel tempo, che hanno sempre permesso la nascita e la sopravvivenza di questa e di altre piccole e importanti isole di ricerca seminale.

### Dedica

Questo lavoro è dedicato alla memoria di Umberto Maria Grassano (Alessandria 25 maggio 1939 - Roma 4 maggio 2000) e Augusto Scacco (Roma 11 ottobre 1943 - 31 agosto 1998), che hanno contribuito in modo essenziale alla nascita e sviluppo della linea di ricerca sui Centri di Colore a Frascati. ●

Giuseppe Baldacchini  
già ENEA, Centro Ricerche Frascati



**FIGURA 6** Lettera di commiato di Italo Federico Quercia a Nicola Cabibbo del 29 novembre 1985, quando Quercia aveva avuto una cattedra all'Università di Roma Tor Vergata e quindi lasciava ufficialmente la sua posizione all'INFN di Frascati. Nella lettera vengono utilizzati alcuni dei suoi famosissimi timbri, che numerosissimi erano sulla sua scrivania

## The double luminescence of Color Centers

*An experiment on the luminescence of Color Centers (CCs) carried out in 1987 at the ENEA Laboratories in Frascati had a negative result, but subsequent investigations showed that it was not a failure but rather a discovery of a new phenomenon. Since the coming of lasers, CCs in alkali halides have been successfully used as optically active materials, in particular FA Centers. One of these centers, well known for its medium infrared laser emission at 77 K, cooled further to 2 K emitted in the near infrared and without laser effect. Further investigations showed that the double luminescence was a fundamental property unknown until that time. This important discovery was achieved in Frascati because of the existence since 1973 of a solid and extensive expertise in the field of CCs, which continued over time and later on applied to the modern miniaturized photonic devices.*

1. Questo laboratorio faceva parte del Laboratorio Criogenico dal 1960, ma dalla metà degli anni 70 venne inserito nel Laboratorio di Spettroscopia Molecolare (SPET), uno dei quattro della Divisione Sistemi Laser e Acceleratori (LAC) operativa a Frascati, che era parte dell'Unità Settoriale di Fisica Applicata (FIS), che a sua volta apparteneva al Dipartimento Tecnologie Intersettoriali di Base (TIB) con sede direzionale nel Centro della Casaccia. Quindi il laboratorio era indicato con la sigla TIB-FIS-LAC-SPET, che incuteva rispetto e timore ai visitatori.
2. Dott. Giuseppe Baldacchini (ricercatore e leader del laboratorio), Fabio De Matteis e Emilio Giovenale (laureandi di Fisica dell'Università di Roma Sapienza). La ricerca sui CCs a Frascati era effettuata in collaborazione con il prof. Umberto Maria Grassano (Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma Tor Vergata), prof. Augusto Scacco e prof.ssa Fabrizia Somma (Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma Sapienza), che spesso partecipavano alle stesse esperienze, e il dott. Mauro Casalbani (ricercatore dell'Università di Roma Tor Vergata). Scacco era il relatore di De Matteis, mentre Baldacchini, Grassano e Scacco lo erano di Giovenale.
3. L'atomo di elio è neutro e quindi non esistono minerali che contengono elio e dai quali si possa estrarre. L'elio presente sulla Terra è quello primordiale intrappolato nelle sue viscere, ed è stato sempre estratto come prodotto secondario dai pozzi petroliferi. All'epoca il più grande produttore erano gli USA, dai quali veniva acquistato in forma liquida o gassosa, ed era molto costoso. Allora, per non disperdere questo gas prezioso in atmosfera, era stato costruito un elio-dotto per tutto il Centro di Frascati che aveva come punto di raccolta il Liquefattore, dove il gas veniva recuperato e liquefatto di nuovo. Frascati per un certo periodo di tempo rifornì praticamente una buona parte d'Italia, ma poi molti si resero autonomi, e la distribuzione rimase solamente per l'area di Roma. A Frascati non ci furono mai incidenti, ma c'è ne fu uno spettacolare nel 1980 circa presso l'Istituto di Fisica di Roma. Un dewar metallico contenente elio liquido era stato appena utilizzato per un trasferimento ma, quando si cercò di togliere il tubo di trasferimento infilato nel suo collo, si incontrarono delle difficoltà. Infatti il tubo si era saldato con il ghiaccio che si era formato, e ogni tentativo di sfilarlo risultò vano. Allora, il dewar venne portato sul terrazzo dell'Istituto, e vennero chiamati i Vigili del Fuoco e la Polizia. L'Istituto fu evacuato per precauzione e le strade circostanti isolate e interdette al traffico. I tentativi di estrarre il tubo continuarono ma senza successo, e alla fine si decise di sparare con un'arma da fuoco sul dewar per fare un foro attraverso i suoi molteplici contenitori e schermi metallici, e favorire così la fuoriuscita del gas ad alta pressione. Ma proprio quando il poliziotto si accingeva a fare fuoco da una posizione protetta, il prof. Giancarlo Chiarotti si lanciò in un ultimo tentativo disperato e, preso con le mani il tubo di trasferimento, riuscì ad estrarlo in una gigantesca nuvola di vapore e liquido, e tutto tornò alla normalità. Ma lo spavento fu grande e il giorno dopo la notizia sui media fu ingigantita fino al punto che si disse che si era evitata un'esplosione in grado di distruggere l'Istituto e parte dell'Università. In realtà, non c'era stato questo pericolo ma l'impressione fu enorme per qualche tempo.
4. Nel tempo, la linea di ricerca sui CCs ha prodotto risultati scientifici e tecnici a livello nazionale e internazionale, e numerosi Laureati/e che oggi occupano posizioni di responsabilità in Italia e all'estero, che sono: **Gian Piero Gallerano** (1980) C, Emanuela Polito (1981) C, Antonio Lanciano (1985) C, Fabio De Matteis (1987) C, **Emilio Giovenale** (1988) C, **Sabina Botti** (1988) C, Marco Rossi (1989) C, Marco Cremona (1989) C, Roberta Coluzzi (1990) C, Massimo Ferri (1990) F, Ernesto Ciarabella (1991) C, Alessandro Ercoli (1991) F, Claudia Marasca (1992) C, Claudia Giliberti (1993) C, Rossella Bottazzi (1994) C, Giuliano D'Auria (1995) F, Elena De Nicola (1996) C, **Antonella Mancini** (1996) F, Luca Ercoli (1996) C, **Francesca Menchini** (1998) C, **Massimo Piccinini** (1999) F, Stefania Bigotta (2000) C & F, Tiziana Marolo (2002) F & C, **Maria Aurora Vincenti** (2007) F. I nomi in grassetto si riferiscono a coloro che poi sono entrati in ENEA come Ricercatori(trici), tra parentesi è riportato l'anno della laurea, mentre le lettere C e F si riferiscono a tesi in Cristalli o Film.
5. Il Laboratorio Criogenico venne fondato dal prof. Giorgio Careri nel 1955 e, quando nel 1964 entrai come laureando del dott. Vinicio Montelatici, era guidato dal prof. Francesco Scaramuzzi, coadiuvato dal prof. Ivo Modena e da un folto stuolo di tecnici eccezionali. Imparai presto e bene, grazie a una scuola unica e insuperata, a lavorare alle bassissime temperature dell'elio liquido, cosicché quando queste conoscenze servirono nel 1973 per lo studio dei CCs, non ci furono difficoltà a realizzare in casa strumenti e apparati necessari allo scopo, all'epoca non ancora esistenti nel mercato scientifico e tecnico. Molti tecnici hanno contribuito al successo di questa linea di ricerca, e tra questi è d'uopo ricordare Remo Bolli (un meccanico di precisione di grande esperienza), Italo Cenciarelli (un tecnico di laboratorio preciso e metodico), Pietro Cardoni (il miglior progettista e realizzatore meccanico al mondo), Italo Giabbai (un progettista meccanico preciso e metodico), Mauro Giardoni (un tecnico di laboratorio tuttofare ed esuberante), Luciano Mori (un tecnico di laboratorio onnivale), Edoardo Solinas (un capotecnico severo e di grandissima esperienza), Aldo Vietti (un capace elettronico con altre ambizioni). In un secondo tempo, un aiuto decisivo venne da Angelo Pace (un tecnico di laboratorio capace e disponibile), migrato nel 1991 a Frascati dal Centro della Casaccia grazie al minore impegno nucleare dell'ENEA.
6. Tra i numerosi Direttori di Centro che ho conosciuto, vorrei qui ricordare il prof. Italo Federico Quercia (1921-1987). Quando andai a trovarlo per chiedere il permesso di lasciare per un anno i Laboratori di Frascati e anche una lettera di presentazione, il prof. Quercia fu subito entusiasta di questo mio desiderio, e allora io gli proposi un mio fac-simile di lettera, che non prese bene, e infatti mi disse che era capacissimo di scriverla da solo e che l'avrebbe inviata a chi di dovere. Lo fece e la sua lettera produsse gli effetti sperati. In quell'occasione, osservai la sua famosa collezione di timbri che usava continuamente nella corrispondenza personale e ufficiale, in special modo nei casi in cui poche parole potevano sortire l'effetto voluto. Alcuni timbri avevano scritte irripetibili, altre erano molto più garbate, e mentre dei primi non sono riuscito a trovarne traccia a distanza di anni, dei secondi ho conservato una lettera scritta nel 1985 all'allora presidente dell'INFN Nicola Cabibbo (1935-2010) che riporto in copia in Figura 6.



- [1] G. Baldacchini (1975), *Dewar Ottico Magnetico-DOM*, Rapporto CNEN LNF-75/43(R)
- [2] G. Baldacchini (2005), *Defect Centers in Insulating Solids, Optical Properties of*, Encyclopedia of Condensed Matter Physics, G.F. Bassani, G.L. Liedl, and P. Wyder, eds., pp. 379-386, Elsevier Academic Press
- [3] *Physics of Color Centers* (1968), edited by W. Beall Fowler, Academic Press, New York
- [4] F. Lüty (1968),  $F_A$  Centers in Alkali Halide Crystals, in *Physics of Color Centers*, edited by W. Beall Fowler, Chapter 3, pp. 181-242, Academic Press, New York
- [5] G. Baldacchini, G.P. Gallerano, U.M. Grassano, A. Lanciano, A. Scacco, F. Somma, M. Meucci, and M. Tonelli (1986), *Effects of the Off-Center Position of the  $Li^+$  Ion on the Optical Properties of the  $F_A$  Center in KCl*, Phys. Rev. B33, pp. 4273-82
- [6] L.F. Mollenauer and D.H. Olson (1975), *Broadly Tunable Lasers Using Color Centers*, J. Appl. Phys. 46, pp. 3109-3118
- [7] G. Baldacchini, U.M. Grassano, e M. Tonelli (1993), *Sorgenti Laser a Centri di Colore*, Il Nuovo Saggiatore, 9, 5/6, pp. 63-78
- [8] L.F. Mollenauer and R.H. Stolen (1984), *The Soliton Laser*, Opt. Lett. 9, pp. 13-15
- [9] G. Baldacchini, E. Giovenale, F. De Matteis, A. Scacco, F. Somma, M. Casalboni, and U.M. Grassano (1988), *New Luminescence of the  $F_A$  Centre in RbCl:Li*, Europhys. Lett. 7, 647-650
- [10] G. Baldacchini, M. Cremona, R.M. Montoreali, C. Gillberti, A. Scacco, U.M. Grassano, and A. Shpak (1994), *Thermal Conversion of  $F_A$  Center Relaxed Excited States in KF:Na<sup>+</sup>*, J. Lumin. 58, 278-280
- [11] G. Baldacchini (1997), *Optical Excitation and Relaxation in Active Color Centers*, in Tunable Solid State Lasers, V. Strek, E. Lukowiak, and B. Nissen-Sobocinska, Eds, Proc. SPIE Vol. 3176, 142-54
- [12] N. Akiyama, T. Shiroasaki, S. Muramatsu, and G. Baldacchini (2012), *Vibronic Relaxation Processes of the  $F_A$  Center in RbCl:Li*, J. Lumin. 132, 1649-1655
- [13] R.M. Montoreali, G. Baldacchini, S. Martelli, and L.C. Scavarda do Carmo (1991), *LIF Films: Production and Characterization*, Thin Solids Films 196, 75-83
- [14] G. Baldacchini (2002), *Colored LiF: An Optical Material for all Seasons*, J. Lumin. 100, 333-343
- [15] R.M. Montoreali (2002), *Point Defects in Thin Insulating Films of Lithium Fluoride for Optical Microsystems*, in Handbook of Thin Film Materials, H.S. Nalwa ed., Vol.3: Ferroelectric and Dielectric Thin Films, Academic Press, Ch.7, 399-431
- [16] F. Bonfigli, M.A. Vincenti, S. Almaviva, R.M. Montoreali, E. Nichelatti, R.N. Nogueira and H.J. Kalinowski (2009), *Photo-Induced Gratings in Thin Color Center Layers on Lithium Fluoride*, Appl. Opt. 48, 31, G38-43
- [17] R.M. Montoreali, F. Bonfigli, M.A. Vincenti, and E. Nichelatti (2013), *Versatile Lithium Fluoride Thin-Film Solid-State Detectors for Nanoscale Radiation Imaging*, Nuovo Cimento, 36, 35-42
- [18] M.A. Vincenti, M. Ambrico, G. Baldacchini, V.S. Kalinov, R.M. Montoreali, E. Nichelatti, L. Schiavulli, and A.P. Voitovich (2015), *Thermoluminescence in LiF Crystals and the Role of Impurities*, Materials Science and Engineering, 80, 0120221-5