

Curriculum Vitae

INFORMAZIONI PERSONALI

Nome GIANPIERO
Cognome BUSCARINO
Recapiti Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Dipartimento di Fisica e Chimica, Tel. +39 09123891725
Telefono 091-23891725
E-mail gianpiero.buscarino@unipa.it
gianpiero.buscarino@gmail.com

FORMAZIONE TITOLI

Attuale posizione

A partire dal 30 Dicembre 2011 è Ricercatore Universitario presso la Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali dell'Università di Palermo ed è afferente al Dipartimento di Fisica e Chimica dello stesso Ateneo

Titoli di studio

Diploma di Liceo Scientifico

Ha conseguito il diploma in luglio 1994 presso il Liceo Scientifico "A. Sciascia", Canicatti (AG), Italia.

Laurea in Fisica (Vecchio Ordinamento)

Ha conseguito la Laurea in Fisica (vecchio ordinamento) presso l'*Università Degli Studi di Palermo* il 19 novembre 2001 con la votazione di **110/110 con lode**. La tesi di laurea, di carattere sperimentale, è stata menzionata per l'assegnazione del premio "E. Gugino".

Titolo della tesi: *Variazioni strutturali del centro E' in silice sotto irraggiamento gamma*

Supervisore: *Prof. Roberto Boscaino*

Dottorato di ricerca

Ha conseguito il titolo di Dottore di ricerca in Fisica presso l'Università degli Studi di Palermo il 28 marzo 2007 con il seguente giudizio finale: **ottimo**.

Titolo della tesi di Dottorato: *Experimental investigation on the microscopic structure of intrinsic paramagnetic point defects in amorphous silicon dioxide.*

Supervisore: Prof. Franco Mario Gelardi

Esperienze post-laurea

Assegni di ricerca

Ha ricoperto la posizione di assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università degli Studi di Palermo.

L'incarico ha avuto inizio in data 19 giugno 2007 per la durata di due anni. In data 10 agosto 2009 ha ottenuto il rinnovo dell'assegno di ricerca per ulteriori due anni. Il contratto di rinnovo si è concluso in data 10 agosto 2011.

Argomento della collaborazione professionale: Studio delle proprietà strutturali di difetti in α -SiO₂ mediante spettroscopia di risonanza magnetica.

Supervisore: Prof. Franco Mario Gelardi

Contratti di collaborazione professionale

1. Il 29 gennaio 2003, a seguito di una selezione pubblica, ha stipulato un contratto di collaborazione professionale della durata di quattro mesi (per il periodo dal 01/02/03 al 31/05/03) con il Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università degli Studi di Palermo.

Argomento della collaborazione professionale: Caratterizzazione di materiali amorfi puri e drogati mediante spettroscopia ottica e di Risonanza Magnetica Elettronica.

Supervisore: Prof. Roberto Boscaino

1. Il 14 febbraio 2007 ha stipulato un contratto di prestazione d'opera in regime di collaborazione coordinata e continuativa della durata di sei mesi (per il periodo dal 01/03/07 al 31/08/07) con il Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito del progetto: "Realizzazione di un progetto regionale per il controllo di qualità di olii vergini di oliva" a valere sul P.O.R. Sicilia 2000/2006, Misura 3.15 ("Reti per lo sviluppo infrastrutture a laboratori esistenti per la realizzazione di centri di testing di nuove tecnologie").

Argomento della collaborazione professionale: Indagine sperimentali sugli olii extravergini di oliva attraverso spettroscopia di risonanza magnetica elettronica.

ATTIVITA' DIDATTICA

1. Ha presentato un contributo in forma di n. 2 lezioni/seminari (per un totale di 4 ore) sull'argomento "Il fenomeno della risonanza magnetica elettronica" nell'ambito del corso di *Fisica dello Stato Solido* di cui è titolare il Prof. F. Persico presso il Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università di Palermo. Il suddetto contributo è stato presentato negli anni accademici 2006/2007 e 2007/2008.
2. Il 27 marzo 2008 ha stipulato un contratto di prestazione d'opera con l'Università degli Studi di Palermo per la copertura in supplenza del corso ufficiale di "Esercitazioni di fisica" (S.S.D. FIS/01-07) per le esigenze del Corso di Laurea in *Scienze Geologiche per la protezione civile* della Facoltà di Scienza Matematiche Fisiche e Naturali (Università di Palermo). Le attività didattiche si sono svolte a decorrere dal 07/04/2008 al 30/04/2008 per un ammontare complessivo di 16 ore (CFU=1).
3. In data 22 ottobre 2009 gli è stato conferito l'incarico per la copertura in supplenza del corso ufficiale di "Fisica" (S.S.D. FIS/01) per le esigenze dei Corsi di Laurea di *Agroingegneria e Scienze Forestali ed Ambientali* della Facoltà di Agraria (Università di Palermo). Le attività didattiche si sono svolte da marzo a maggio 2010 per un ammontare complessivo di 60 ore (CFU=6).

4. Nel periodo da gennaio a febbraio 2009 ha presentato un contributo in forma di n. 4 lezioni/seminari nell'ambito del corso di dottorato (XXII ciclo, Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università di Palermo) dal titolo "Difetti di punto e difetti estesi nei materiali amorfi", di cui è responsabile il Prof. R. Boscaino.
5. Nel mese di gennaio 2010 ha presentato un contributo in forma di n. 3 lezioni/seminari (teoriche ed esercitazioni di laboratorio per un totale di 6 ore) sull'argomento "Il fenomeno della risonanza magnetica elettronica" nell'ambito del Corso di Laboratorio di Fisica della Materia I di cui è titolare il Prof. A. Agliolo Gallitto presso il Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università di Palermo.
6. In data 21 ottobre 2010 gli è stato conferito l'incarico per la copertura in supplenza del corso ufficiale di "Fisica" (S.S.D. FIS/01) per le esigenze dei Corsi di Laurea in *Agroingegneria e Scienze Forestali ed Ambientali* della Facoltà di Agraria (Università di Palermo). Le attività didattiche si sono svolte da marzo a maggio 2011 per un ammontare complessivo di 60 ore (CFU=6).
7. In data 21 ottobre 2010 gli è stato conferito l'incarico per la copertura in supplenza del corso ufficiale di "Fisica" (S.S.D. FIS/01) per le esigenze del Corso di Laurea in *Scienze e Tecnologie Agrarie* della Facoltà di Agraria (Università di Palermo). Le attività didattiche si sono svolte da marzo a maggio 2011 per un ammontare complessivo di 60 ore (CFU=6).
8. Anno Accademico 2011/2012: Ha svolto attività di supporto al corso "Fisica dei sistemi condensati". Dipartimento di Fisica. Università di Palermo.
9. Anno Accademico 2011/2012: Ha svolto attività di supporto al corso "Meccanica quantistica". Dipartimento di Fisica. Università di Palermo.
10. Anno Accademico 2011/2012: Ha svolto attività di supporto al corso "Laboratorio di Fisica 2". Dipartimento di Fisica. Università di Palermo.
11. Anno Accademico 2012/2013: E' titolare del corso "Laboratorio di Fisica della Materia". Dipartimento di Fisica e Chimica. Università di Palermo.
12. E' membro della commissione di esame dei seguenti corsi universitari ufficiali presso l'Università degli Studi di Palermo:
 1. *Fisica con Esercitazioni* (Corso di Laurea in Scienze Geologiche per la Protezione Civile) [AA: 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011];
 2. *Fisica* (Corso di Laurea in Scienze Geologiche per la Protezione Civile) [AA: 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011];
 3. *Fisica I con Esercitazioni* (Corso di Laurea in Scienze Geologiche) [AA: 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011];
 4. *Fisica I* (Corso di Laurea in Scienze Geologiche) [AA: 2008/2009, 2009/2010, 2010/2011];
 5. *Fisica* (Corso di Laurea in Scienze Biologiche) [AA: 2009/2010];
 6. *Fisica* (Corso di Laurea in Agroingegneria) [AA: 2009/2010, 2010/2011];
 7. *Fisica* (Corso di Laurea in Scienze Forestali ed Ambientali) [AA: 2009/2010, 2010/2011];
 8. *Fisica* (Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie) [AA: 2010/2011];
 9. *Matematica, Informatica e Fisica* (Corso di Laurea in Agricoltura Biologica) [AA: 2010/2011];
 10. *Matematica e lab. di Informatica e di Fisica* (Corso di Laurea in Agricoltura Biologica) [AA: 2010/2011].
 11. *Laboratorio di Fisica della Materia* (Corso di Laurea Magistrale in Scienze Fisiche) [AA: 2012/2013]

PUBBLICAZIONE

AGGIORNATO AL 31-12-2012

Pubblicazioni

Pubblicazioni su riviste internazionali su invito

1.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Investigation on the microscopic structure of E'd center in amorphous silicon dioxide by electron paramagnetic resonance spectroscopy, Mod. Phys. Lett. B, 20 (2006) 451-474 (pubblicato da World Scientific in Singapore, ISSN 0217-9849).

Pubblicazioni su riviste internazionali con referee

2. S. Agnello, R. Boscaino, G. Buscarino, M. Cannas and F.M. Gelardi, Structural relaxation of E' centers in amorphous silica, Phys. Rev. B, 66 (2002) 113201 1-4 (pubblicato dalla American Physical Society in U.S.A., ISSN 1098-0121).
- 3.S. Agnello, R. Boscaino, G. Buscarino and F. M. Gelardi, Experimental evidence for two different precursors of E' centers in silica, J. Non-Cryst. Solids, 345&346 (2004) 505-508 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 4.S. Agnello, G. Buscarino and F. M. Gelardi, Growth of paramagnetic defects by gamma rays irradiation in oxygen-deficient silica, J. Non-Cryst Solids, 351 (2005) 1787-1790 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 5.S. Agnello, R. Boscaino, G. Buscarino and F. M. Gelardi, Modifications of optical absorption band of E' center in silica, J. Non-Cryst. Solids, 351 (2005) 1801-1804 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 6.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Delocalized Nature of the E'd Center in Amorphous Silicon Dioxide, Phys. Rev. Lett., 94 (2005) 125501 1-4 (pubblicato dalla American Physical Society in U.S.A., ISSN 0031-9007).
- 7.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, ²⁹Si Hyperfine Structure of the E'a Center in Amorphous Silicon Dioxide, Phys.

- Rev. Lett., 97 (2006) 135502 1-4 (pubblicato dalla American Physical Society in U.S.A., ISSN 0031-9007).
- 8.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Characterization of E' d and triplet point defects in oxygen-deficient amorphous silicon dioxide, Phys. Rev. B., 73 (2006) 045208 1-8 (pubblicato dalla American Physical Society in U.S.A., ISSN 1098-0121).
- 9.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Hyperfine structure of the E' d centre in amorphous silicon dioxide, J. Phys.: Condens. Matter, 18 (2006) 5213-5219 (pubblicato da IOP Publishing Ltd. in Inghilterra, ISSN 0953-8984).
- 10.S. Agnello, G. Buscarino, M. Cannas, F. Messina, S. Grandi and A. Magistris, Structural inhomogeneity of Ge-doped amorphous SiO₂ probed by photoluminescence lifetime measurements under synchrotron radiation, Phys. Stat. Sol. C, 4 (2007) 934-937 (pubblicato da WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA in Germania, ISSN: 1610-1642).
- 11.G. Buscarino, S. Agnello, A. Parlato, Electron paramagnetic resonance line shape investigation of the 29Si hyperfine doublet of the E' center in a-SiO₂, Phys. Stat. Sol. C, 4 (2007) 1301-1304 (pubblicato da WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA in Germania, ISSN: 1610-1642).
- 12.G. Buscarino, S. Agnello, F. M. Gelardi and A. Parlato, Electron paramagnetic resonance investigation on the hyperfine structure of the E' d center in amorphous silicon dioxide, J. Non-Cryst. Solids, 353 (2007) 518-521 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 13.G. Buscarino and S. Agnello, Experimental evidence of E' centers generation from oxygen vacancies in a-SiO₂, J. Non-Cryst. Solids, 353 (2007) 577-580 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 14.G. Buscarino, R. Boscaino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Optical absorption and electron paramagnetic resonance of the E' center in amorphous silicon dioxide, Phys. Rev. B., 77 (2008) 155214 1-5 (pubblicato dalla American Physical Society in U.S.A., ISSN 1098-0121).
- 15.S. Agnello, G. Buscarino, F. M. Gelardi and R. Boscaino, Optical absorption band at 5.8 eV associated with the E' centers in amorphous silicon dioxide: Optical absorption and EPR measurements, Phys. Rev. B, 77 (2008) 195206 1-7 (pubblicato dalla American Physical Society in U.S.A., ISSN 1098-0121).
- 16.G. Buscarino, G. Vaccaro, S. Agnello and F. M. Gelardi, Variability of the Si-O-Si angle in amorphous SiO₂ probed by electron paramagnetic resonance and Raman spectroscopy, J. Non-Cryst. Solids, 355 (2009) 1092-1094 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 17.A. N. Trukhin, J. Teteris, A. Fedotov, D. L. Griscom and G. Buscarino, Photosensitivity of SiO₂-Al and SiO₂-Na glasses under ArF (193 nm) laser, J. Non-Cryst. Solids, 355 (2009) 1066-1074 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 18.G. Vaccaro, S. Agnello, G. Buscarino, L. Nuccio, S. Grandi, and P. Mustarelli, 29Si attribution of the 1.3 mT hyperfine structure of the E' centers in amorphous SiO₂, J. Appl. Phys., 105 (2009) 093514 1-6 (pubblicato dalla American Institute of Physics in U.S.A., ISSN 0021-8979).
- 19.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Structural modifications induced by electron irradiation in SiO₂ glass: Local densification measurements, Europhysics Letters, 87 (2009) 26007 p1-p4 (pubblicato dalla European Physical Society in Francia, ISSN: 0295-5075).
- 20.G. Buscarino, S. Agnello, F. M. Gelardi and R. Boscaino, Polyamorphic transformation induced by electron irradiation in a-SiO₂ glass, Phys. Rev. B, 80 (2009) 094202 1-11 (pubblicato dalla American Physical Society in U.S.A., ISSN 1098-0121).
- 21.G. Buscarino, S. Agnello, F. M. Gelardi and R. Boscaino, The role of impurities in the irradiation induced densification of amorphous SiO₂, J. Phys.: Condens. Matter, 22 (2010) 255403 1-7 (pubblicato da IOP Publishing Ltd. in Inghilterra, ISSN 0953-8984).
- 22.G. Vaccaro, G. Buscarino, S. Agnello, G. Messina, M. Carpanese and F. M. Gelardi, Structural properties of the range-II- and range-III order in amorphous-SiO₂ probed by electron paramagnetic resonance and Raman spectroscopy, Eur. Phys. J. B, 76 (2010) 197-201 (pubblicato dalla European Physical Society in Francia, ISSN: 1434-6028).
- 23.G. Vaccaro, S. Agnello, G. Buscarino and F. M. Gelardi, Thermally Induced Structural Modification of Silica Nanoparticles Investigated by Raman and Infrared Absorption Spectroscopies, J. Phys. Chem. C, 114 (2010) 13991-13997 (pubblicato dalla American Chemical Society in U.S.A., ISSN: 1932-7447).
- 24.G. Buscarino, V. Ardizzone, G. Vaccaro, S. Agnello, and F. M. Gelardi, Atomic force microscopy and Raman investigation on the sintering process of amorphous SiO₂ nanoparticles, J. Appl. Phys., 108 (2010) 074314 1-9 (pubblicato dalla American Institute of Physics in U.S.A., ISSN 0021-8979).
- 25.L. Vaccaro, G. Vaccaro, S. Agnello, G. Buscarino, and M. Cannas, Wide range excitation of visible luminescence in nanosilica, Solid State Commun., 150 (2010) 2278-2280 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN: 0038-1098).
- 26.S. Agnello, G. Iovino, G. Buscarino, R. Boscaino, and F. Costa, Effects of thermal treatments in controlled atmosphere on the Ce oxidation state in Ce-Ti-Eu doped SiO₂ sol-gel glasses, J. Sol-Gel Sci. Technol., 58 (2011) 56 (pubblicato dalla Springer in Olanda, ISSN: 0928-0707).
- 27.G. Buscarino, E. Vella, G. Navarra, and R. Boscaino, A two-component model for the 2260 cm⁻¹ infrared absorption band in electron in press irradiated amorphous SiO₂, J. Non-Cryst. Solids, 357 (2011) 1926 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 28.G. Vaccaro, S. Agnello, G. Buscarino, M. Cannas, and L. Vaccaro, Structural and luminescence properties of amorphous SiO₂ nanoparticles, J. Non-Cryst. Solids, 357 (2011) 1941 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 29.G. Buscarino, V. Ardizzone, G. Vaccaro, and F. M. Gelardi, Sintering process of amorphous SiO₂ nanoparticles investigated by AFM, IR, and Raman techniques, J. Non-Cryst. Solids, 357 (2011) 1866 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).
- 30.M. Bellardita, A. Di Paola, L. Palmisano, F. Parrino, G. Buscarino, R. Amadelli, Preparation and photoactivity of samarium loaded anatase, brookite and rutile catalysts, Appl. Catal. B: Env., 104 (2011) 291 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0926-3373).
- 31.E. Vella, G. Buscarino, G. Vaccaro, and R. Boscaino, Structural organization of silanol and silicon hydride groups in the amorphous silicon dioxide network, Eur. Phys. J. B, 83 (2011) 47-52 (pubblicato dalla European Physical Society in Francia, ISSN: 1434-6028).
- 32.G. Vaccaro, G. Buscarino, S. Agnello, A. Sporea, C. Oproiu, D. G. Sporea, and F. M. Gelardi, Structure of Amorphous SiO₂ Nanoparticles Probed through the E' Centers, J. Phys. Chem. C, 116 (2012) 144-149 (pubblicato dalla American Chemical Society in U.S.A., ISSN: 1932-7447).
- 33.M. Ricca, V. Foderà, V. Vetri, G. Buscarino, M. Montalbano, and M. Leone, Oxidation Process in Sicilian Olive Oils

Investigated by a Combination of Optical and EPR Spectroscopy, J. Food Sci., 77 (2012) C1084-C1089 (pubblicato dalla Institute of Food Technologists, ISSN: 1750-3841).

34. G. Buscarino, S. Agnello, F. M. Gelardi, and R. Boscaino, Properties of methyl radical trapped in amorphous SiO₂ and in natural SiO₂-clathrate Melanoflogite, J. Non-Cryst. Solids, 361 (2013) 9-12 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).

35. G. Buscarino, S. Agnello, A. Parlato, and F. M. Gelardi, Investigation on the generation process of HO₂• radicals by γ -ray irradiation in O₂-loaded fumed silica, J. Non-Cryst. Solids, 362 (2013) 152-155 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).

36. A. Alessi, S. Agnello, G. Buscarino, and F.M. Gelardi, Raman and IR investigation of silica nanoparticles structure, J. Non-Cryst. Solids, 362 (2013) 20-24 (pubblicato dalla Elsevier in Olanda, ISSN 0022-3093).

37. A. Alessi, G. Iovino, G. Buscarino, A. Agnello, and F.M. Gelardi, Entrapping of O₂ Molecules in Nanostructured Silica Probed by Photoluminescence, J. Phys. Chem. C, 117 (2013) 2616-2622 (pubblicato dalla American Chemical Society in U.S.A., ISSN: 1932-7447).

Pubblicazioni internazionali senza referee

40. G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, E' center in amorphous silicon dioxide: A potential probe for embedded silicon nanostructures, Proceeding of the 10th europysical conference on defects in insulating materials [Milano (Italia), 2006], ISBN 88-548-0668-4.

41. G. Buscarino, S. Agnello and A. Parlato, Electron paramagnetic resonance line shape investigation of the ²⁹Si hyperfine doublet of the E' centre in a-SiO₂, Proceeding of the 10th europysical conference on defects in insulating materials [Milano (Italia), 2006], ISBN 88-548-0668-4.

42. S. Agnello, G. Buscarino, M. Cannas, F. Messina, S. Grandi and A. Magistris, Structural inhomogeneity of Ge-doped amorphous SiO₂ probed by photoluminescence lifetime measurements under synchrotron radiation, Proceeding of the 10th europysical conference on defects in insulating materials [Milano (Italia), 2006], ISBN 88-548-0668-4.

43. G. Buscarino, S. Agnello, F. M. Gelardi, and R. Boscaino, EPR investigation on the polyamorphic transformation induced by electron irradiation in SiO₂ glass, Proceedings of XI Convegno Nazionale GIRSE & 1st Joint Meeting ARPE-GERPE-GIRSE [Palermo, 2012], ISBN 978-88-907460-9-3.

Partecipazioni a congressi

Ha partecipato ai seguenti congressi nazionali ed internazionali:

INFM Meeting [Genova (Italia), 2004];

SiO₂ 2004, 5th symposium "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Chamonix Mont-Blanc (Francia), 2004];

Workshop on Electron Spin Resonance and Related Phenomena in Low Dimensional Structures [San Remo (Italia), 2006];

SiO₂ 2006, 6th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Palermo (Italia), 2006];

EURODIM2006, 10th europysical conference on defects in insulating materials [Milano (Italia), 2006];

SiO₂ 2008, 7th symposium "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Saint-Etienne (Francia), 2008];

SiO₂ 2010, "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Varenna (Italia), 2010].

SiO₂ 2012, "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Hyères (Francia), 2012].

XI Convegno Nazionale GIRSE & 1st Joint Meeting ARPE-GERPE-GIRSE [Palermo (Italia), 2012].

Contributi orali a congressi

Contributi presentati personalmente (in qualità di relatore)

1. G. Buscarino, S. Agnello, F. M. Gelardi and A. Parlato, Electron paramagnetic resonance investigation on the hyperfine structure of the E' center in amorphous silicon dioxide, SiO₂2006, 6th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Palermo (Italia), 2006].

2. G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, E' center in amorphous silicon dioxide: A potential probe for embedded silicon nanostructures, EURODIM2006, 10th europysical conference on defects in insulating materials [Milano (Italia), 2006]. (Keynote)

3. G. Buscarino, V. Ardizzone, G. Vaccaro, and F. M. Gelardi, Sintering process of amorphous SiO₂ nanoparticles investigated

by AFM, IR, and Raman techniques, SiO2010, 8th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Varenna (Italia), 2010].

4.G. Buscarino, S. Agnello, F. M. Gelardi, and R. Boscaino, EPR investigation on the polyamorphic transformation induced by electron irradiation in SiO₂ glass, XI Convegno Nazionale GIRSE & 1st Joint Meeting ARPE-GERPE-GIRSE [Palermo (Italia), 2012]. (Invited)

Contributi presentati da coautori

1.G. Buscarino, S. Agnello, R. Boscaino and F. M. Gelardi, Modifications of optical absorption band of E' center in silica, SiO2004, 5th symposium "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Chamonix Mont-Blanc (Francia), 2004].

2.S. Agnello, A. Alessi, R. Boscaino, G. Buscarino, M. Cannas, M. D'Amico, F. M. Gelardi, M. Leone, F. Messina, G. Navarra, L. Nuccio, L. Vaccaro, E. Vella, Inhomogeneity effects on point defects studied by photoluminescence time decay in a-SiO₂, Advanced Wide Band Gap Materials for Radiation Detector [Sinaia (Romania), 2007].

3.E. Vella, G. Buscarino and R. Boscaino, Irradiation induced structural modifications of amorphous SiO₂, SiO2008, 7th symposium "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Saint-Etienne (Francia), 2008].

4.G. Vaccaro, S. Agnello, G. Buscarino, M. Cannas and L. Vaccaro, Structural and luminescence properties of amorphous SiO₂ nanoparticles, SiO2010, 8th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Varenna (Italia), 2010].

5.A. Alessi, S. Agnello, G. Buscarino, F. M. Gelardi, 9th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Hyères (Francia), 2012].

Contributi poster a congressi e scuole

1.S. Agnello, R. Boscaino, G. Buscarino, M. Cannas, F. M. Gelardi, Structural properties of E' centers in irradiated silica investigated by the EPR technique, presentato alla 14^o International Conference ISMAR [Rodhos (Grecia), 2001].

2.F. M. Gelardi, S. Agnello, R. Boscaino, G. Buscarino and M. Cannas, Experimental evidence of a metastable state of E' center in silica, INFM Meeting [Genova (Italia), 2002].

3.S. Agnello, R. Boscaino and G. Buscarino, Conformational variants of the E' center and of their precursors in silica, INFM Meeting [Genova (Italia), 2003].

4.S. Agnello, R. Boscaino, G. Buscarino and F. M. Gelardi, Experimental evidence of two different precursors of E' centers in silica, X International Conference on the Physics of Non-Crystalline Solids [Parma (Italia), 2003].

5.G. Buscarino, S. Agnello, R. Boscaino and F. M. Gelardi, Intrinsic paramagnetic centers induced in gamma ray irradiated oxygen-deficient silica, INFM Meeting [Genova (Italia), 2004].

6.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Growth of paramagnetic defects by gamma rays irradiation in oxygen-deficient silica, SiO2004, 5th symposium "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Chamonix Mont-Blanc (Francia), 2004].

7.G. Buscarino, S. Agnello, R. Boscaino and F. M. Gelardi, Electron paramagnetic resonance and optical absorption characterization of E' centers in silica, POWAG 2004 Summer-School on Advanced Glass-Based Nano-Photonics [Bath (UK), 2004].

8.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Is the E'd center a ionized silicon nanocluster embedded in a-SiO₂ matrix?, XI scuola nazionale di scienza dei materiali – nanostrutture [Cortona (Italia), 2005].

9.G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Si-rich sites embedded in a-SiO₂ probed by electron paramagnetic resonance spectroscopy, Workshop on Electron Spin Resonance and Related Phenomena in Low Dimensional Structures [San Remo (Italia), 2006].

10.G. Buscarino and S. Agnello, Experimental evidence of E' centers generation from oxygen vacancies in a-SiO₂, SiO2006, 6th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Palermo (Italia), 2006].

11.G. Buscarino, S. Agnello and A. Parlato, Electron paramagnetic resonance line shape investigation of the ²⁹Si hyperfine doublet of the E' centre in a-SiO₂, EURODIM2006, 10th europysical conference on defects in insulating materials [Milano (Italia), 2006].

12.S. Agnello, G. Buscarino, M. Cannas, F. Messina, S. Grandi and A. Magistris, Structural inhomogeneity of Ge-doped amorphous SiO₂ probed by photoluminescence lifetime measurements under synchrotron radiation, EURODIM2006, 10th europysical conference on defects in insulating materials [Milano (Italia), 2006].

13.M. Ricca, G. Buscarino, M. Amenta, V. Vetri, V. Foderà and M. Leone, Thermal induced oxidative process in sicilian olive oil investigated by optical and EPR spectroscopy, 3th International Symposium on Recent Advances in Food Analysis [Prague (Czech Republic), 2007].

14.G. Vaccaro, G. Buscarino, S. Agnello and F. M. Gelardi, Variability of the Si-O-Si angle in amorphous SiO₂ probed by electron paramagnetic resonance and Raman spectroscopy, SiO2008, 7th symposium "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Saint-Etienne (Francia), 2008].

15.A. N. Trukhin, J. Teteris, A. Fedotov, D. L. Griscom and G. Buscarino, Photosensitivity of SiO₂-Al and SiO₂-Na glasses under ArF (193 nm) laser, SiO2008, 7th symposium "SiO₂ Advanced Dielectrics & Related Devices [Saint-Etienne (Francia), 2008].

16.G. Buscarino, E. Vella, G. Navarra and R. Boscaino, A two-component model for the 2260 cm⁻¹ infrared absorption band in electron irradiated amorphous SiO₂, SiO2010, 8th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Varenna (Italia), 2010].

17.G. Buscarino, S. Agnello, F. M. Gelardi, and R. Boscaino, Properties of methyl radical trapped in amorphous SiO₂ and in natural SiO₂-clathrate Melanoflogite, 9th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Hyères (Francia), 2012].

18.G. Buscarino, S. Agnello, A. Parlato, and F. M. Gelardi, Investigation on the generation process of HO₂ radicals by γ -ray irradiation in O₂-loaded fumed silica, 9th symposium "SiO₂, advanced dielectrics and related devices" [Hyères (Francia), 2012].

19.L. Vaccaro, L. Spallino, S. Agnello, G. Buscarino, and M. Cannas, Defects related visible luminescence of silica nanoparticles, E-MER Fall Meeting [Varsavia (Polonia), 2012]

ATTIVITA' SCIENTIFICHE

Attività di ricerca

Periodo 2001-2008

L'attività di ricerca svolta dal candidato nel periodo 2001-2008 si inquadra principalmente nel contesto della ricerca finalizzata allo studio della struttura dei difetti di punto paramagnetici intrinseci indotti da radiazione o particelle ionizzanti nel biossido di silicio amorfo (a-SiO₂ o silice) bulk. I difetti di punto in a-SiO₂ sono stati caratterizzati prevalentemente con spettroscopia di risonanza magnetica elettronica (EPR) e di assorbimento ottico (OA). Lo studio è stato condotto su difetti indotti sia nel processo di produzione del materiale sia applicando dei trattamenti controllati di irraggiamento con radiazioni ionizzanti (principalmente raggi γ e raggi e^-) e dei trattamenti termici. Al fine di distinguere le caratteristiche particolari di un dato materiale da quelle generali sono stati confrontati diversi tipi di a-SiO₂ ottenuti sia con tecniche commerciali standard sia con tecniche di laboratorio.

L'a-SiO₂ gioca un ruolo centrale in molte delle moderne tecnologie. Questo materiale, infatti, è utilizzato per la realizzazione di lenti rifrattive, dispositivi optoelettronici, fibre ottiche e altri componenti ottici di precisione. Tuttavia, uno dei campi di applicazione più rilevante è probabilmente quello della microelettronica in cui l'a-SiO₂ è utilizzato come strato isolante (oxide) nei dispositivi MOS (Metal-Oxide-Semiconductor). I difetti di punto in a-SiO₂, introdotti nei processi di produzione oppure indotti da esposizione a radiazione o particelle ionizzanti sono spesso la causa del degrado delle prestazioni di numerosi dispositivi. In particolare, i difetti di punto prevalentemente coinvolti sono i centri E', di cui, in vari studi riguardanti sia sistemi MOS sia materiali di a-SiO₂ bulk, sono state distinte tre varianti denominate E'¹, E'² ed E'^a. Al di là dei motivi di interesse legati alle applicazioni, lo studio dei difetti di punto in sistemi vetrosi come l'a-SiO₂ costituisce oggi un capitolo importante della ricerca nel campo della fisica dello stato solido, per le numerose questioni connesse con le proprietà dei sistemi amorfi. Non è ancora chiaro, per esempio, in che misura la natura amorfa della matrice possa influenzare i processi di formazione e la struttura stessa dei difetti di punto in essa generati.

Nonostante i numerosi studi sperimentali e teorici effettuati sin dagli anni '50, molte proprietà fondamentali dei difetti di punto in a-SiO₂ sono rimaste per lungo tempo questioni aperte. I risultati sperimentali ottenuti dal candidato hanno permesso di ottenere nuove e rilevanti informazioni sulla struttura microscopica e sulle principali proprietà ottiche di alcuni fra i più rilevanti difetti di punto dell'a-SiO₂, contribuendo significativamente a chiarire gli aspetti più controversi e dibattuti degli ultimi decenni di ricerca nel campo.

Di seguito è riportata una breve descrizione dei principali risultati sperimentali ottenuti dal candidato nel periodo 2001-2008. In particolare questi risultati hanno riguardato i centri paramagnetici E'¹, E'² ed E'^a.

Il centro E'¹

Il centro E'¹ è il più comune difetto dell'a-SiO₂ e consiste in un elettrone spaiato localizzato in un orbitale sp³ di un atomo di Si legato a tre atomi di O della matrice del materiale (O⁰Si). Le principali caratteristiche dello spettro EPR del centro E'¹ consistono in una riga principale con g@2 ed una coppia iperfine con separazione di ~42 mT, dovuta all'interazione dell'elettrone spaiato con il nucleo dell'atomo di ²⁹Si (I=1/2, abbondanza naturale 4.7 %) su cui esso è localizzato. Inoltre, al centro E'¹ è stata anche inequivocabilmente attribuita una banda OA piccata a ~5.8 eV. Sebbene la struttura locale del difetto possa ritenersi ormai sufficientemente chiarita, lo stesso non può dirsi della configurazione degli atomi della seconda sfera di coordinazione dell'atomo di Si su cui è localizzato l'elettrone spaiato. Inoltre, non è ancora chiaro se e quali specifici siti della

matrice del materiale vergine possano fungere da precursori per la generazione del difetto sotto irraggiamento.

Studio delle proprietà strutturali ed ottiche del difetto

L'attività di ricerca svolta dal candidato ha messo in luce che al variare della dose di irraggiamento la forma di riga del segnale EPR principale del centro E' subisce variazioni significative in tutti i materiali considerati. Alcuni campioni irraggiati alle più alte dosi (~10³ kGy) sono stati successivamente sottoposti a trattamenti termici di tipo isocrono. Questi esperimenti hanno mostrato che al crescere della temperatura del trattamento la forma di riga EPR del centro E' subisce delle variazioni in verso opposto rispetto a quelle osservate al crescere della dose di irraggiamento. La conversione della forma di riga ha inizio a T@400 K e si conclude a T@470 K, limite oltre il quale non si osservano ulteriori modifiche. Inoltre, la forma di riga ottenuta per temperature maggiori di 470 K coincide con quella osservata alle basse dosi di irraggiamento. Un comportamento simile è stato anche osservato per la forma di riga EPR delle due componenti costituenti la coppia iperfine del centro E'. Inoltre, le misure OA acquisite nella regione spettrale dall'UV al v-UV hanno evidenziato che la banda di assorbimento centrata a 5.8 eV, anch'essa associata ai centri E'g, è soggetta a modificazioni della posizione e della larghezza a metà altezza correlabili con le modifiche osservate nello spettro EPR. Per interpretare il completo set di dati sperimentali raccolti è stata ipotizzata l'esistenza di una variazione strutturale reversibile del centro E'g, indotta alternativamente e con effetti opposti, da irraggiamento e da trattamento termico. I risultati ottenuti per tutte le tipologie di silice considerate hanno permesso di concludere che il fenomeno di conversione strutturale indotta per irraggiamento e per trattamento termico è una caratteristica intrinseca del difetto.

Caratterizzazione delle righe EPR superiperfini del difetto

Per ottenere maggiori informazioni strutturali sugli atomi della seconda sfera di coordinazione dell'atomo di Si su cui è localizzato l'elettrone spaiato nel centro E' è stato effettuato uno studio approfondito attraverso la spettroscopia EPR di una coppia di righe con separazione ~1.3 mT. Questo segnale è tipicamente presente negli spettri di campioni di a-SiO₂ sottoposti ad irraggiamento. I risultati ottenuti hanno supportato la conclusione che la suddetta coppia di righe EPR è dovuta all'interazione iperfine dell'elettrone spaiato del centro E' con atomi di ²⁹Si secondi vicini. Inoltre, attraverso uno studio quantitativo della riga EPR principale del centro E' e della coppia con separazione ~1.3 mT è emerso che la struttura microscopica della seconda sfera di coordinazione del centro E' non è unica. Questo risultato suggerisce che in a-SiO₂ possano esistere varie tipologie di centro E' che differiscono per la struttura degli atomi secondi vicini e che probabilmente hanno origine da diversi siti precursori all'interno del materiale.

Il centro E'

Prima dell'inizio dell'attività di ricerca condotta dal candidato la struttura microscopica del centro E'd non era ancora stata chiarita ed era argomento di numerose indagini sia di tipo sperimentale che di tipo simulativo. L'analisi sperimentale effettuata dal candidato, consistita essenzialmente nella realizzazione di specifiche sequenze di irraggiamenti e trattamenti termici su materiali con alta carenza di ossigeno, ha permesso, per la prima volta, di ottenere una stima del rapporto di intensità tra il segnale EPR della coppia iperfine con separazione ~10 mT e quello della riga di risonanza principale del centro E'd. La determinazione di questo rapporto ha permesso di dimostrare in modo inequivocabile che la funzione d'onda dell'elettrone

spaiato coinvolto nel difetto è delocalizzata su quattro atomi di Si equivalenti. Questo risultato ha rappresentato un grosso passo in avanti nella comprensione della struttura microscopica del centro E' ed ha suggerito che il suo sito precursore potrebbe consistere in una coppia di vacanze di O adiacenti o in un nanocluster di Si.

Il centro E'

Ulteriori studi effettuati attraverso irraggiamento e successivo trattamento termico di materiali con alta carenza di ossigeno, hanno permesso di osservare e caratterizzare per la prima volta la struttura iperfina principale del centro E'_a, che consiste in una coppia di righe EPR con separazione ~49 mT. Sulla base di questa osservazione sperimentale è stato proposto che il centro E'_a possa avere origine dall'intrappolamento di una lacuna in una singola vacanza di O, a cui segue un rilassamento strutturale che porta l'elettrone spaiato a localizzarsi in un orbitale sp³ di un atomo di Si diretto verso l'esterno rispetto alla vacanza di O. Inoltre, le proprietà di simmetria del centro E'_a, dedotte dalla forma della riga EPR centrale, suggeriscono che l'elettrone spaiato interagisce con un atomo di O della matrice dell' α -SiO₂ disposto nelle immediate vicinanze del difetto.

Gli studi effettuati attraverso spettroscopia ottica hanno permesso anche di caratterizzare l'attività ottica del centro E'_a. Infatti, è stato per la prima volta dimostrato sperimentalmente che questo difetto è responsabile di una banda OA piccata a ~5.8 eV, con larghezza di ~0.6 eV e forza dell'oscillatore di ~0.14. Queste caratteristiche spettroscopiche sono confrontabili con quelle della banda OA associata al centro E' e dimostrano che i due difetti, E'_a ed E', possiedono una struttura dei livelli energetici elettronici molto simile fra loro.

Periodo 2009-oggi

A partire dal 2009 l'attività sperimentale del candidato si è evoluta nella direzione dello studio delle proprietà strutturali della matrice dell' α -SiO₂ e delle variazioni in essa indotte attraverso trattamento termico o causate da intenso irraggiamento (dose > 10⁴ kGy). Questi studi strutturali sono stati effettuati sia sfruttando i difetti si punto, i quali agiscono come probe locali del reticolo del materiale, sia attraverso l'utilizzo di ulteriori tecniche spettroscopiche in grado di identificare e caratterizzare numerose rilevanti proprietà strutturali estese dei materiali, quali le tecniche Raman e di assorbimento infrarosso (IR).

I suddetti studi, oltre che materiali bulk, hanno anche riguardato materiali di α -SiO₂ nanostrutturati, i quali negli ultimi anni hanno attratto un interesse crescente per via delle loro affascinanti e imprevedibili proprietà che conferiscono a questi sistemi grandi potenzialità per applicazioni nel campo dell'ottica, dell'elettronica, della medicina, ecc. In particolare, il materiale considerato dal candidato è stato la *fumed silica*. Questo materiale è costituito da polveri di particelle approssimativamente sferiche di α -SiO₂ di dimensioni che possono variare da pochi nanometri a qualche decina di nanometri, a seconda della tipologia considerata. Per ottenere una più approfondita caratterizzazione dei suddetti sistemi il candidato si è avvalso anche della tecnica di microscopia a forza atomica (AFM). Grazie ed essa è stato possibile sia studiare la morfologia dei materiali di partenza sia monitorare le variazioni indotte su di essa in conseguenza di specifici trattamenti quali per esempio i trattamenti termici a varie temperature.

Di seguito è riportata una breve descrizione dei principali risultati sperimentali ottenuti dal candidato nel periodo 2009-oggi.

Il centro E' come probe locale della struttura dell'SiO₂

Una delle ragioni del grosso interesse scientifico che ruota intorno al centro E' risiede nel fatto che numerosi studi, sia sperimentali che teorici, hanno dimostrato che il doppietto iperfine ad esso associato (con separazione ~42 mT) è un efficiente probe delle proprietà microscopiche del materiale che circonda il difetto. In particolare, la larghezza a metà altezza di ognuna delle due righe che compongono il doppietto iperfine fornisce una stima quantitativa del grado di disordine strutturale del materiale, mentre la separazione (in unità di campo magnetico) tra le posizioni medie delle due linee del doppietto è sensibile agli angoli O-Si-O e Si-O-Si ed alla lunghezza di legame Si-O. Nell'attività di ricerca svolta dal candidato questa proprietà peculiare del centro E' è stata utilizzata per ottenere una caratterizzazione microscopica della struttura dell'a-SiO₂ bulk. Per approfondire ulteriormente questo studio sono state anche eseguite misure di scattering Raman. Le indagini combinate effettuate con spettroscopia EPR e Raman sulle varie tipologie di silice bulk al variare delle metodologie di produzione e del contenuto di impurità ha permesso di mettere in evidenza una significativa variabilità della distribuzione dell'angolo Si-O-Si nei vari materiali considerati. Inoltre, questi studi hanno dimostrato l'esistenza di importanti correlazioni tra proprietà strutturali che competono a scale di lunghezza fra loro molto diverse. Analoghi studi sono attualmente in corso su materiali nanostrutturati.

Processo di densificazione indotto dall'irraggiamento in a-SiO₂

Attraverso l'analisi delle proprietà della coppia iperfine del centro E' è stato anche effettuato uno studio dettagliato del processo di densificazione indotto dall'irraggiamento con elettroni (per dosi fino a 5×10^6 kGy) in a-SiO₂ bulk. Questo studio ha messo in evidenza che le modifiche strutturali indotte dall'irraggiamento non procedono in modo omogeneo su tutto il volume del campione, come si pensava in precedenza, ma determinano la comparsa di regioni confinate strutturalmente alterate immerse nella matrice del materiale. Al crescere della dose di irraggiamento crescono sia il volume delle regioni strutturalmente modificate sia il loro grado di densificazione locale. Il processo di alterazione strutturale termina quando tutto il volume disponibile è stato alterato dall'irraggiamento. I risultati di questo studio hanno permesso per la prima volta di introdurre un modello microscopico quantitativo in grado di descrivere il processo di densificazione indotto dall'irraggiamento in a-SiO₂. Inoltre, è stato possibile identificare e quantificare il contributo delle impurità in questo processo. Analoghi studi sono attualmente in corso su materiali nanostrutturati.

Effetti del trattamento termico a varie temperature su nanoparticelle di a-SiO₂

Al fine di ottenere informazioni sulla natura e sulla stabilità termica delle principali proprietà strutturali peculiari delle nanoparticelle di a-SiO₂, diverse tipologie di fumed silica, consistenti in nanoparticelle di diverso diametro (7 nm, 14 nm e 40 nm), sono state sottoposte a trattamenti termici della durata di 2 h nell'intervallo di temperature da 370 K a 1270 K a passi di 100 K.

Questi studi hanno mostrato che alcune importanti proprietà della fumed silica, come l'angolo di legame Si-O-Si, le proprietà strutturali a medio range (statistica dei ring) e la quantità di molecole di acqua adsorbita sulla superficie del materiale sono molto differenti rispetto a quelle della silice bulk. Inoltre, esse sono intimamente legate alle dimensioni medie delle particelle. Per quanto concerne la stabilità termica, è stato osservato che l'acqua adsorbita sulla superficie delle particelle subisce una significativa riduzione già per trattamenti termici a T=370 K, mentre le alterazioni strutturali sono attivate per T>670 K. Le proprietà strutturali peculiari della fumed silica, che nel complesso indicano un reticolo stressato, sono state interpretate attraverso un modello a shell per le nanoparticelle. Questo modello prevede che le nanoparticelle siano costituite da uno strato superficiale (surface shell), caratterizzato da una struttura che risente di notevoli stress, e da una parte interna (core shell), in cui gli stress sono molto meno rilevanti e di conseguenza la struttura è molto più simile a quella della silice bulk. Grazie all'introduzione di questo modello è stato possibile descrivere con grande dettaglio le variazioni indotte nella struttura delle nanoparticelle per effetto dei trattamenti termici a varie temperature. In particolare, è stato possibile distinguere due effetti molto diversi tra loro: un processo di rilassamento termico che coinvolge il core delle particelle e che è molto simile a quello osservato in silice bulk, ed un secondo processo di modifica strutturale peculiare delle nanoparticelle. Questo secondo processo interessa essenzialmente lo strato superficiale delle stesse ed è attivato dall'essiccamento delle superfici (rilascio

delle molecole di acqua adsorbite) e dalle reazioni chimiche che si attivano tra i punti di contatto tra particelle adiacenti. Quest'ultimo processo, denominato *sintering*, si innesca solamente alle più alte temperature considerate e determina vere e proprie nanofusioni tra le particelle.

Per caratterizzare in maggiore dettaglio il processo di sintering sono stati effettuati studi comparativi con le tecniche AFM e Raman su tre tipologie di fumed silica (consistenti in polveri di nanoparticelle di 7 nm, 14 nm e 40 nm di diametro) trattati termicamente a $T=1270$ K per diversi intervalli di tempo da 0 a 290 h. Dal confronto dei dati ottenuti con i due metodi sperimentali è stato possibile correlare le variazioni di tipo strutturale indotte sui campioni dal trattamento termico con quelle di tipo morfologico.

In particolare, le misure AFM hanno mostrato che il processo di sintering ha inizio con lo stabilirsi di legami chimici nei punti di contatto tra particelle adiacenti e, per tempi più lunghi, procede attraverso una vera e propria fusione di gruppi di nanoparticelle fra loro con la conseguente formazione di grani di maggiori dimensioni. Dall'ispezione delle immagini AFM sono state ottenute le distribuzioni delle dimensioni dei grani per le varie tipologie di fumed silica in funzione della durata del trattamento termico. Questi dati hanno mostrato che per ogni tipologia di fumed silica investigata la dimensione dei grani cresce all'aumentare della durata del trattamento termico con rate pressoché costanti fino a 290 h. Inoltre, i dati sperimentali hanno messo in evidenza che il rate di sintering dipende significativamente dalle dimensioni delle particelle del sistema di partenza: esso è tanto più grande quanto più piccole sono le dimensioni delle particelle iniziali.

Le misure Raman hanno confermato che la struttura dei campioni vergini di fumed silica è significativamente diversa da quella della silice bulk. D'altra parte è emerso che il trattamento termico è in grado di promuovere un efficiente rilassamento strutturale del materiale nella direzione della silice bulk. L'analisi quantitativa degli spettri Raman ha messo in evidenza che il rilassamento della struttura per trattamento termico può essere opportunamente descritto con una legge esponenziale in funzione della durata del trattamento. Considerando l'intero set di dati raccolti, indipendentemente dalla tipologia, si è stimato un tempo caratteristico di rilassamento strutturale di circa 40 h.

Il confronto tra i risultati AFM e quelli Raman ha evidenziato chiaramente che il processo di rilassamento strutturale si esaurisce velocemente dopo le prime fasi del trattamento termico, mentre quello di sintering procede gradualmente a rate costante. Inoltre, è emerso che la struttura della fumed silica sottoposta a trattamento termico è completamente rilassata quando i grani formati attraverso il processo di sintering raggiungono un diametro medio di circa 40 nm. Questo valore, quindi, rappresenta una stima delle dimensioni tipiche al di sopra delle quali il confinamento spaziale non è più in grado di indurre alcun effetto rilevante sulla struttura del materiale.

Spunti per future attività sperimentali

Uno degli argomenti di ricerca che il candidato intende sviluppare nei prossimi anni riguarda lo studio delle proprietà dei materiali clatrati di SiO_2 . Questi sistemi sono costituiti da una struttura cristallina a gabbie (porosa) al cui interno si trovano intrappolate delle piccole molecole debolmente interagenti con il reticolo. Il più noto clatrato dell' SiO_2 è la *melanoflogite*, che rappresenta l'unica forma cristallina porosa con questa composizione chimica che può formarsi spontaneamente in natura. Essa contiene due tipi di gabbie del diametro di circa 6 Å e 7 Å, ognuna delle quali tipicamente intrappola al suo interno una molecola di CO_2 , CH_4 oppure di N_2 . Ad oggi sono noti numerosi clatrati dell' SiO_2 che possono essere facilmente prodotti in laboratorio attraverso consolidate procedure chimiche. Questi sistemi differiscono tra loro per le dimensioni delle gabbie costituenti la struttura e per le molecole in esse contenute. Inoltre, è stato dimostrato che nonostante le piccole molecole contenute nelle gabbie siano necessarie per la formazione del materiale, esse possono essere successivamente eliminate attraverso opportuni trattamenti termici senza che questo comprometta la stabilità della struttura a gabbie del reticolo.

I sistemi clatrati costituiscono oggi alcuni tra i più interessanti materiali sia per studi fondamentali che per fini applicativi. Per

quanto riguarda la ricerca di base sono particolarmente rilevanti le questioni riguardanti le condizioni chimico-fisiche che guidano il processo formazione di questi sistemi cristallini porosi ed il contributo ad esso offerto dalle piccole molecole ospiti. Inoltre, i sistemi clatrati permettono di studiare le proprietà delle piccole molecole in essi intrappolate, le quali risentono esclusivamente di piccole interazioni con le gabbie. Dal punto di vista applicativo i sistemi clatrati sono molto promettenti perché potrebbero essere utilizzati per l'immagazzinamento ed il trasporto di Idrogeno o gas naturali (CH_4), per il sequestro di gas serra come il CO_2 , oppure ancora per il confinamento di nuclei come il Radon (Rn) che costituisce uno dei più pericolosi elementi radioattivi derivanti dai processi di fusione nucleare che coinvolgono l'Uranio.

AMBITI DI RICERCA

Solidi amorfi, solidi amorfi nanodimensionati, interazione radiazione materia, fisica delle basse temperature, proprietà ottiche e strutturali di difetti di punto, risonanza paramagnetica elettronica, spettroscopia di assorbimento e di fotoluminescenza risolta in tempo, microscopia a forza atomica.