



Programmi di ricerca cofinanziati - Modello C
Rendiconto di unità di ricerca - ANNO 2004
prot. 2004023725_001

1. Area Scientifico Disciplinare principale	02: Scienze fisiche
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	ANDREANI Lucio
- Università	Università degli Studi di PAVIA
- Facoltà	Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI
- Dipartimento/Istituto	Dip. FISICA
3. Titolo del programma di ricerca	Cristalli fotonici a base di Silicio per il controllo della propagazione e dell'emissione di luce

4. Responsabile Scientifico dell'Unità di Ricerca	ANDREANI Lucio
- Università	Università degli Studi di PAVIA
- Facoltà	Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI
- Dipartimento/Istituto	Dip. FISICA
5. TITOLO del programma dell'unità di ricerca	Propagazione di luce e teoria di cristalli fotonici
6. SETTORE principale dell'unità di ricerca:	FIS/03
7. Finanziamenti assegnati all'unità di ricerca:	
- Quota Ateneo	37.500 €
- Quota MIUR	87.500 €
- Finanziamento totale	125.000 €

8. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Le attività dell'Unità di Pavia hanno riguardato due aspetti principali:

- 1) studio sperimentale della propagazione di luce in cristalli fotonici;
- 2) descrizione teorica delle bande fotoniche e delle proprietà ottiche.

1a) Interferometria

Sono state effettuate misure di fase su multistrati di Silicio poroso prodotti a Trento, sia di tipo ordinato (microcavità accoppiate per effetti di slow wave) che di tipo intenzionalmente disordinato (per stati di necklace). Sul primo tipo di campioni è stata dimostrata la presenza di una banda con velocità di gruppo ridotta di un fattore cinque: i risultati sono stati in seguito confermati da misure risolte

in tempo presso l'unità di Firenze. Invece sui campioni intenzionalmente disordinati le misure di fase hanno evidenziato la presenza di stati di necklace multipli, in cui il salto di fase è un multiplo intero di π . Anche in questo caso i risultati sono in accordo con misure risolte in tempo effettuate a Firenze. I risultati su entrambi i tipi di campioni sono pubblicati su Appl. Phys. Lett. e Phys. Rev. B [21,25].

Inoltre sono state effettuate misure di fase su cristalli fotonici 3D (opali artificiali di polistirene). Per mezzo di una accurata analisi della dipendenza della fase dalla frequenza è stato possibile ottenere la fase assoluta, ossia una funzione continua della frequenza che si annulla a frequenza zero. Nella regione di bassa energia attorno alla stop-band del primo ordine, partendo dalla fase assoluta si è poi ottenuto l'indice di rifrazione effettivo, senza bisogno di fare ipotesi di mezzo omogeneo. Dalla derivata della fase è stata ottenuta la velocità di gruppo, che ha mostrato effetti di rallentamento al band edge e velocità superluminali all'interno del gap fotonico. Inoltre è stato possibile misurare il cammino libero medio della luce e verificare che gli effetti del disordine diminuiscono all'aumentare dello spessore del campione. I risultati sono stati pubblicati su Phys. Rev. B [16].

Nella regione di alta energia attorno alla stop-band del secondo ordine, le misure di fase hanno mostrato effetti sorprendenti e molto innovativi. A seconda del numero di strati nel campione, la fase presenta zone con forte aumento o diminuzione separate da "flips". La velocità di gruppo passa da valori piccoli e positivi (luce lenta) a valori negativi, che corrispondono a una propagazione superluminale. L'effetto è dovuta alla presenza di modi a bassa dispersione nella stop-band del secondo ordine, che producono diffrazione multipla. I risultati sono in corso di pubblicazione.

1b) Riflettanza risolta in angolo, normale e attenuata

Sono state effettuate misure di bande fotoniche mediante la tecnica di riflettanza risolta in angolo, sia normale (che misura i modi quasi-guidati sopra alla linea di luce) che attenuata (che fa uso di un prisma ad alto indice di rifrazione per eccitare i modi guidati sotto alla linea di luce). Sono state misurate le bande fotoniche in vari reticoli 1D, senza e con cavità [14] e 2D con reticolo triangolare.

Inoltre sono state effettuate misure di riflettanza risolta in angolo su opali di polistirene e di silice prodotti presso l'unità di Torino, determinando la dispersione del gap fotonico e la presenza di effetti di diffrazione [5,19].

Le misure più innovative sono state effettuate su guide d'onda lineari nel reticolo triangolare, realizzate in membrane sospese di silicio. Sono state effettuate misure di riflettanza totale attenuata (ATR) mediante l'uso di un prisma di Silicio, su strutture di dimensione 100x20 micron: il prisma si comporta come una lente, focalizzando il fascio e permettendo di misurare singoli difetti lineari su aree molto piccole. Sono state studiate guide d'onda lineari con larghezza di canale variabile, ossia guide di tipo W1.0, W1.2 e W1.5. Variando l'orientazione del campione rispetto al prisma è stato possibile misurare la dispersione dei modi di difetto lineare di parità opposta rispetto ad un piano verticale, e quindi di determinare la regione di propagazione guidata a singolo modo sotto alla linea di luce. Si è dimostrato che le guide W1.0 e W1.5 possiedono una regione a singolo modo, sotto alla linea di luce (quindi con perdite solo estrinseche dovute al disordine di fabbricazione) ed inoltre, nel caso della guida W1.5, con velocità di gruppo elevata: quindi la guida W1.5 risulta la più promettente per ottenere perdite di propagazione ridotte in membrane di Silicio. I risultati sono pubblicati su Phys. Rev. B [9].

1c) Tramissione in guida d'onda

Sono state misurate guide d'onda di Nitruro di Silicio prodotte a Trento e a Torino, sia non patternate che patternate con reticoli monodimensionali. Le misure sulle guide non patternate, eseguite con il metodo di cut-back su campioni clivati di lunghezza variabile, hanno permesso di determinare le perdite di propagazione assolute in un ampio intervallo spettrale dal vicino IR fino a tutto il visibile. Le misure su campioni patternati con reticoli 1D, sia periodici che contenenti cavità, hanno evidenziato la presenza di gap fotonici fino al quarto ordine e anche l'esistenza di modi di difetto nel gap fotonico. I risultati sono pubblicati su Appl. Phys. Lett. [12].

1d) Tuning, switching, ottica non lineare

Sono stati determinati effetti di tuning delle bande fotoniche mediante riflettanza totale attenuata: a seconda della distanza fra il prisma di materiale ad alto indice ed il campione (controllata da tre posizionatori piezoelettrici), la frequenza di risonanza e soprattutto la larghezza è modificata. L'effetto è dovuto all'accoppiamento fra i modi guidati e i modi radiativi indotto dal prisma.

Sono state effettuate varie misure di generazione di terza armonica su cristalli fotonici di Silicio su Isolante, che hanno evidenziato la presenza di effetti di risonanza quando il fascio di pompa ha la stessa frequenza e vettore d'onda di un modo quasi-guidato. Inoltre sono stati osservati e interpretati effetti di diffrazione nonlineare fino al terzo ordine. I risultati sono pubblicati su Appl. Phys. B. [7].

E' stato implementato un set-up per la misura della trasmissione utilizzando un laser accordabile da 1.63 a 1.35 micron. Sono state misurate varie guide di tipo W1 e W1.5 (cioè con larghezza di canale aumentata del 50%), anche contenenti riflettori e cavità. E' stata verificata la presenza di modi guidati e (nel caso di campioni con cavità) la presenza di risonanze associate a difetti localizzati. Al momento l'indagine si sta concentrando sul miglioramento delle tecniche di preparazione dei campioni e del clivaggio. Inoltre il set-up è stato completato con un laser impulsato di pompa (Nd:YAG Q-switched con impulsi al ns) al fine di evidenziare effetti di tuning e switching delle bande fotoniche e della trasmissione guidata.

1e) Altre attività sperimentali:

E' stato esteso il sistema di micro-riflettanza e ATR per effettuare misure di micro-foto-luminescenza risolta in angolo. Le misure vengono effettuate a temperatura ambiente. Sono state effettuate misure di micro-PL risolta in angolo su cristalli fotonici attivi di SOI, contenenti un sottile strato di ossido con ioni Erblio e nanocristalli di Silicio. I campioni sono stati cresciuti presso l'Università di Catania mediante magnetron sputtering e successivamente patternati per creare il reticolo fotonico. Le misure hanno evidenziato un forte aumento della luminescenza nella direzione verticale, quando la riga di emissione dell'Erblio (a una lunghezza d'onda di 1.54 micron) è risonante con un modo fotonico quasi-guidato. L'aumento dell'emissione raggiunge valori di 150 (senza tenere conto della riduzione di materiale attivo dovuto al patterning, che diventa 250 normalizzando alla quantità di materiale

attivo). I risultati sono molto promettenti al fine di ottenere una efficiente emissione di luce da materiali a base di Silicio alle lunghezze d'onda telecom. I risultati sono pubblicati su Appl. Phys. Lett. [23].

E' stato sviluppato un set-up per la misura della luminescenza a temperature ambiente da guide d'onda fotoniche attive. Il sistema si presta alla misura della luminescenza emessa sia in guida d'onda che verticalmente. Il set-up è stato testato su guide d'onda luminescenti di Nitruro di Silicio prodotte a Torino e su guide di SOI contenenti uno strato attivo di ossido con Erblio e nanocristalli di Silicio prodotte a Catania. Le misure hanno evidenziato un aumento dell'emissione in polarizzazione TM, causata dall'effetto della slot di materiale a basso indice sui modi con campo elettrico perpendicolare all'interfaccia. I risultati sono pubblicati su Appl. Phys. Lett. [26].

2a) Bande fotoniche

E' stata completata la formulazione del metodo di espansione nella base dei modi guidati (Guided-Mode Expansion, GME) per il calcolo delle bande fotoniche e delle perdite per diffrazione per i cristalli fotonici 2D in guida d'onda planare. Il metodo parte da uno sviluppo nella base dei modi guidati di una guida d'onda efficace, considerando gli effetti del tensore dielettrico in ogni strato e calcolando l'interazione con i modi radiativi mediante la teoria delle perturbazioni (regola d'oro di Fermi applicata a un sistema fotonico). Il metodo è stato applicato a varie situazioni, in particolare al reticolo triangolare di fori triangolari. In questo reticolo è presente un gap completo (per entrambe le polarizzazioni) per il modo guidato del primo ordine. Inoltre si è trovata una configurazione interessante per l'ottica nonlineare, con gap fotonici a ω e 2ω . Il formalismo e i risultati sono pubblicati su Phys. Rev. B [22]. Inoltre il metodo è stato esteso al calcolo delle perdite dovute al disordine, come descritto nel punto successivo 2c).

Sono stati effettuati calcoli di bande fotoniche in sistemi di varia dimensionalità, in particolare su guide d'onda fotoniche 1D e 2D, allo scopo sia di design che di interpretazione delle misure. Sono stati studiati sia i reticoli 1D e cavità in guide fotoniche di membrane ad alto indice o di Nitruro di Silicio [2], sia le guide lineari W1.0-W1.5 in membrane di Silicio. I risultati sono in ottimo accordo con gli esperimenti [4,7,9,12,14]. Inoltre sono stati effettuati design di guide lineari e nanocavità per la successiva realizzazione in Silicio su Isolante e in membrane di Silicio.

2b) Proprietà ottiche

Lo sviluppo più interessante in questa direzione ha riguardato l'applicazione del metodo della matrice di scattering al calcolo delle proprietà ottiche degli opali. Poiché il metodo si applica a sistemi che si possono suddividere in strati omogenei lungo una direzione (z), nel caso degli opali le sfere sono state rappresentate con cilindri orientati lungo la direzione perpendicolare alla superficie, che è solitamente la [111]. Sono stati studiati modelli a uno, tre e cinque cilindri ed in tutti questi casi sono state trovate le condizioni ottimali perché la struttura fcc con cilindri riproduca le bande fotoniche dell'opale di sfere. L'approssimazione a cinque cilindri è del tutto soddisfacente, non solo per la regione a bassa energia ma anche per quella ad alta energia e alto angolo [24].

Successivamente sono state calcolate le proprietà ottiche: riflessione, trasmissione, fase di trasmissione, diffrazione. Ne risulta un metodo vettoriale per il calcolo di tutte le proprietà ottiche degli opali nelle regioni di bassa e alta energia, che è superiore a tutti gli altri metodi attualmente disponibili. In particolare è stato possibile interpretare le misure di fase nella regione a bassa energia, effettuate a Pavia [16,19], e le misure di trasmissione ad alta energia effettuate da altri gruppi. Inoltre è stato calcolato e discusso un interessante effetto detto di "Pendelloesung", che consiste in oscillazioni dell'intensità di luce diffratta nella regione di alta energia in funzione dello spessore del campione. L'effetto è dovuto all'interferenza fra due modi che si propagano alla stessa energia ma a diverso vettore d'onda. Il metodo teorico e i risultati principali sono pubblicati su Phys. Rev. B [24].

2c) Perdite di propagazione in difetti lineari e fattori Q in nano-cavità, effetti di disordine

E' stato effettuato uno studio sistematico degli effetti di disordine in guide lineari con larghezza di canale variabile, sia su SOI che su membrane di Silicio, mediante il metodo di espansione nella base dei modi guidati e trattando la modulazione dielettrica dovuta al disordine in teoria delle perturbazioni. E' stato mostrato che la guide di tipo W1.5 ha una banda con perdite di propagazione ridotte di quasi un ordine di grandezza rispetto alla guida W1.0: la banda di alta trasmissione ha una ampiezza confrontabile nei due tipi di guida. Inoltre sono state confrontate le perdite di propagazione dovute al disordine nelle guide d'onda fotoniche con quelle nelle guide d'onda convenzionali (Silicon wires) e sono stati trovati risultati confrontabili nei due casi. I risultati sono stati pubblicati su Optics Express [3] e su Photonics and Nanostructures [13].

Un metodo simile è stato applicato anche allo studio degli effetti di disordine sui fattori Q di nanocavità di tipo L3 (tre fori mancanti nel reticolo triangolare) in funzione dello spostamento dei buchi adiacenti. E' stato mostrato che il disordine riduce notevolmente gli elevati fattori Q previsti dalla teoria per il sistema ideale [13].

2d) Altre attività: interazione radiazione-materia, ottica nonlineare, design

E' stato condotto uno studio approfondito dell'interazione fra modi fotonici ed eccitoni in guide d'onda fotoniche contenenti una quantum well. Sono state determinate le condizioni per avere accoppiamento forte, o polaritoni nei cristalli fotonici. Inoltre è stata studiata l'interazione radiazione-materia in nano-cavità fotoniche contenenti quantum dots e sono state formulate le condizioni per l'accoppiamento forte [1,8].

E' stata studiata la generazione di seconda armonica con doppia risonanza in cristalli fotonici 1D contenenti cavità. Il metodo di analisi è basato sul concetto di mappe dei gap fotonici, in presenza di dispersione dell'indice dei materiali. Sono state determinate le condizioni per avere massimo scaling con il numero di periodi nei riflettori di Bragg. Lo scaling è esponenziale ed è massimo quando sono verificate le condizioni di phase-matching[15].

Infine, oltre ai design per i campioni prodotti nell'ambito del progetto e per la unità partner, è stato effettuato il design di cavità ad altissimo fattore Q in membrane ad alto indice, utilizzando difetti con tre buchi mancanti nel reticolo triangolare e sfruttando il concetto di ottimizzazione della geometria locale o "gentle confinement". Membrane di GaAs sono state realizzate presso

l'Università della California a Santa Barbara e contengono anche uno strato di quantum dots di InAs al centro della membrana. I campioni hanno mostrato lasing a soglia molto bassa, anche in assenza di condizioni di risonanza fra la transizione del quantum dot e i modi di cavità: si verifica quindi un "self-tuning" della transizione di quantum dot. I risultati sono stati pubblicati su Phys. Rev. Lett [17].

PUBBLICAZIONI 2005-2006 SULLE TEMATICHE DEL PROGETTO:

- [1] D. Gerace, L.C. Andreani: "Strong exciton-light coupling in photonic crystal nanocavities", *Physica Status Solidi (c)* 2, 801-804 (2005).
- [2] D. Gerace, M. Agio, L.C. Andreani and P. Lalanne: "Cavity modes in one-dimensional photonic crystal slabs", *Opt. Quantum Electron.* 37, 277-292 (2005).
- [3] D. Gerace, L.C. Andreani: "Low-loss guided modes in photonic crystal waveguides", *Optics Express* 13, 4939-4951 (2005).
- [4] M. Galli, D. Bajoni, F. Paleari, M. Patrini, G. Guizzetti, D. Gerace, M. Agio, L.C. Andreani, D. Peyrade, Y. Chen: "Measurement of Photonic Mode Dispersion and Linewidths in Silicon-on-Insulator Photonic Crystal Slabs", *IEEE Journal of Selected Areas in Communication* 23, 1402-1410 (2005).
- [5] E. Pavarini, L.C. Andreani, C. Soci, M. Galli, F. Marabelli, D. Comoretto: "Band structure and optical properties of opal photonic crystals", *Phys. Rev. B* 72, 045102 (2005).
- [6] S. Cabrini, A. Carpentiero, R. Kumar, L. Businaro, P. Candeloro, M. Prasciolu, A. Gosparini, L.C. Andreani, M. De Vittorio, T. Stomeo, E. Di Fabrizio: "Focused ion beam lithography for two dimensional array structures for photonic applications", *Microelectron. Eng.* 78-79, 11 (2005).
- [7] C. Comaschi, G. Vecchi, A.M. Malvezzi, M. Patrini, G. Guizzetti, M. Liscidini, L.C. Andreani, D. Peyrade, Y. Chen: Enhanced third-harmonic reflection and diffraction in Silicon on Insulator photonic waveguides, *Appl. Phys. B* 81, 305-311 (2005).
- [8] L.C. Andreani, D. Gerace and M. Agio, Exciton-polaritons and nanoscale cavities in photonic crystal slabs, *Physica Status Solidi (b)* 242, 2197-2209 (2005).
- [9] M. Galli, D. Bajoni, M. Patrini, G. Guizzetti, D. Gerace, L.C. Andreani, M. Belotti, Y. Chen: Single-mode versus multimode behavior in silicon photonic crystal waveguides measured by attenuated total reflectance, *Phys. Rev. B* 72, 125322 (2005).
- [10] M. Agio and L.C. Andreani: "Photonic Bandgap Materials", in *Encyclopedia of Condensed Matter Physics*, edited by G.F. Bassani, G. Liedl and P. Wyder (Elsevier, 2005), pp. 286-294
- [11] S. Lettieri, F. Gesuele, P. Maddalena, M. Liscidini, L.C. Andreani, C. Ricciardi, V. Ballarini, F. Giorgis: Second-harmonic generation in hydrogenated amorphous Si(1-x)N(x) doubly resonant microcavities with periodic dielectric mirrors, *Appl. Phys. Lett.* 87, 191110 (2005).
- [12] D. Gerace, M. Galli, D. Bajoni, G. Guizzetti, L. C. Andreani, F. Riboli, M. Melchiorri, N. Daldosso, L. Pavesi, G. Pucker, S. Cabrini, L. Businaro, and E. Di Fabrizio: Wide-band transmittance of one-dimensional photonic crystals carved in Si₃N₄/SiO₂ channel waveguides, *Appl. Phys. Lett.* 87, 211116 (2005).
- [13] D. Gerace and L.C. Andreani: Effects of disorder on propagation losses and cavity Q-factors in photonic crystal slabs, *Photon. Nanostruct.* 3, 120-128 (2005).
- [14] M. Belotti, J. Torres, E. Roy, A. Pépin, D. Gerace, L.C. Andreani, M. Galli, and Y. Chen: "Fabrication of SOI photonic crystal slabs by soft UV-nanoimprint lithography", *Microelectron. Eng.* 83, 1773 (2006).
- [15] M. Liscidini and L.C. Andreani: Second-harmonic generation in doubly-resonant microcavities with periodic dielectric mirrors, *Phys. Rev. E* 73, 106613 (2006).
- [16] J.F. Galisteo-López, M. Galli, M. Patrini, A. Balestreri, L.C. Andreani, and C. López: Effective refractive index and group-velocity determination of three-dimensional photonic crystals by means of white-light interferometry, *Phys. Rev. B* 73, 125103 (2006).
- [17] S. Strauf, K. Hennessy, M.T. Rakher, Y.-S. Choi, A. Badolato, L.C. Andreani, E.L. Hu, P.M. Petroff, and D. Bouwmeester, Self-tuned quantum dot gain in photonic crystals lasers, *Phys. Rev. Lett.* 96, 127404 (2006).
- [18] C. Ricciardi, V. Ballarini, M. Galli, M. Liscidini, L.C. Andreani, M. Losurdo, G. Bruno, F. Lettieri, F. Gesuele, P. Maddalena, and F. Giorgis: Amorphous Silicon Nitride: a suitable alloy for optical multilayered structures, *Journal of Non-Crystalline Solids* 352, 1294-1297 (2006).
- [19] L. Pallavidino, D. Santamaria Razo, F. Geobaldo, A. Balestreri, D. Bajoni, M. Galli, L.C. Andreani, C. Ricciardi, E. Celasco, M. Quaglio, and F. Giorgis: Synthesis, characterization and modelling of Silicon based opals, *Journal of Non-Crystalline Solids* 352, 1425-1429 (2006).
- [20] S. Cabrini, L. Businaro, M. Prasciolu, A. Carpentiero, D. Gerace, M. Galli, L.C. Andreani, F. Riboli, L. Pavesi, and E. Di Fabrizio: Focused ion beam fabrication of one-dimensional photonic crystals on Si₃N₄-SiO₂ channel waveguides, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 8, S550-S553 (2006).

- [21] M. Ghulinyan, M. Galli, C. Toninelli, J. Bertolotti, S. Gottardo, F. Marabelli, D.S. Wiersma, L. Pavesi, and L.C. Andreani: Wide-band transmission of non-distorted slow waves in one-dimensional optical superlattices, *Appl. Phys. Lett.* 88, 241103 (2006).
- [22] L.C. Andreani and D. Gerace: Photonic crystal slabs with a triangular lattice of triangular holes investigated using a guided-mode expansion method, *Phys. Rev. B* 73, 235114 (2006).
- [23] M. Galli, A. Politi, M. Belotti, D. Gerace, M. Liscidini, M. Patrini, L.C. Andreani, M. Miritello, A. Irrera, F. Priolo, and Y. Chen, Strong enhancement of Er³⁺ emission at room temperature in silicon-on-insulator photonic crystal waveguides, *Appl. Phys. Lett.* 88, 251114 (2006).
- [24] A. Balestreri, L.C. Andreani and M. Agio: Optical properties and diffraction effects in opal photonic crystals, *Phys. Rev. E* 74, 036603 (2006).
- [25] J. Bertolotti, M. Galli, R. Sapienza, M. Ghulinyan, S. Gottardo, L.C. Andreani, L. Pavesi, and D. Wiersma: Wave transport in random systems: Multiple resonance character of necklace modes and their statistical behavior, *Phys. Rev. E* 74, 035602(R) (2006).
- [26] M. Galli, D. Gerace, A. Politi, M. Liscidini, M. Patrini, L.C. Andreani, A. Canino, M. Miritello, R. Lo Savio, A. Irrera, and F. Priolo, Direct evidence of light confinement and emission enhancement in active silicon-on-insulator slot waveguides, *Appl. Phys. Lett.* 89, 241114 (2006).

PRESENTAZIONI A CONGRESSI (**=relazione su invito, *=presentazione orale, §=poster):

5th Colloque Franco-Russe de Physique du Solide et de la Matière Condensée, Clermont-Ferrand (France), 14 gennaio 2005 (L.C. Andreani**)

Spie Photonics West – San Jose (California), 22-27 gennaio 2005 (M. Galli* e D. Gerace*)

Winter College on Optics and Photonics, Trieste, 7-18 febbraio 2005 (L.C. Andreani**)

PECS-VI Heraklion (Grecia), 19-24 giugno 2005 (M. Galli*, L.C. Andreani§, D. Gerace§)

MMD Meeting: Matter, Materials and Devices, Genova, 22-25 June 2005 (L.C. Andreani§, A. Balestreri§, M. Liscidini§)

International Quantum electronics Conference & Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, Tokyo (Japan), 11-15 July 2005 (M. Liscidini*)

Summer School "Photonic Metamaterials: From Micro to Nano Scale" by NoE PHOREMOST, Erice (TP), 1-7 August 2005 (A. Balestreri§)

COST P11 meeting, Twente (Olanda), 1-4 ottobre 2005 (L.C. Andreani*)

SPIE Optics and Optoelectronics, Varsavia (Polonia), 28 agosto – 2 settembre 2005 (M. Liscidini*)

MNE - Micro and Nano Engineering Conference, Vienna (Austria), 19-22 settembre 2005 (M. Belotti*)

XCI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica, Catania, 26 settembre – 1 ottobre 2005 (M. Galli**)

Israelo-Italian Workshop on Optronics, Beer-Sheva (Israele), 30 novembre-1 dicembre 2005 (L.C. Andreani**)

SPIE Photonics Europe, Strasburgo (Francia), 3-7 aprile 2006 (L.C. Andreani*, J. Galisteo-López*, M. Galli, M. Patrini)

E-MRS, Nice (France), 29 maggio-2 giugno 2006 (M. Galli*)

ICTON and European Symposium on Photonic Crystals, Nottingham (U.K.), 18-22 June 2006 (L.C. Andreani**, M. Liscidini§, A. Balestreri§)

COST P11 Training School on Modeling and Simulation Techniques for Linear, Nonlinear and Active Photonic Crystals, Nottingham (UK), 19-22 June 2006 (L.C. Andreani**, M. Liscidini, A. Balestreri)

XCII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica, Torino, 18-23 settembre 2006 (L.C. Andreani**)

European Optical Society Meeting, Paris (France), 16-19 ottobre 2006 (M. Galli*, M. Liscidini*)

PHOREMOST Meeting, Vilnius (Lituania), 24-25 ottobre 2006 (J.F. Galisteo-López§, M. Belotti§)

XXIV Convegno di Fisica teorica e struttura della materia, Levico Terme (TN), 17-20 settembre 2006 (A. Balestreri§)

Italian-Swiss workshop on high-performance computing in materials science, Palau (OT), September 21-23, 2006 (M. Liscidini§)

VIII Convegno Nazionale "Materiali Nanofasici", Roma, 3-4 Ottobre 2006 (M. Patrini*)

FORMAZIONE DI PERSONALE: sono stati formati e inseriti nelle attività di ricerca vari giovani ricercatori, in particolare

Dario Gerace (post-doc)
Juan Galisteo Lopez (post-doc)
Michele Belotti (dottorando, poi post-doc)
Marco Liscidini (dottorando, poi post-doc)
Alessandra Balestreri (dottoranda)
Alberto Politi (laureando)

9. Pubblicazioni del responsabile

n°	Pubblicazione
1.	ANDREANI L.C.; D. GERACE (2006). Photonic crystal slabs with a triangular lattice of triangular holes investigated using a guided-mode expansion method <i>PHYSICAL REVIEW B, CONDENSED MATTER AND MATERIALS PHYSICS</i> vol. 73 pp. 235114 ISSN: 1098-0121
2.	A. BALESTRERI; ANDREANI L.C.; M. AGIO (2006). Optical properties and diffraction effects in opal photonic crystals <i>PHYSICAL REVIEW E, STATISTICAL, NONLINEAR, AND SOFT MATTER PHYSICS</i> vol. 74 pp. 036603 ISSN: 1539-3755
3.	S. STRAUF; K. HENNESSY; M.T. RAKHER; Y.-S. CHOI; A. BADOLATO; ANDREANI L.C.; E.L. HU; P.M. PETROFF; D. BOUWMEESTER (2006). Self-tuned quantum dot gain in photonic crystals lasers <i>PHYSICAL REVIEW LETTERS</i> vol. 96 pp. 127404(4) ISSN: 0031-9007
4.	D. GERACE; ANDREANI L.C. (2005). Low-loss guided modes in photonic crystal waveguides <i>OPTICS EXPRESS</i> vol. 13 pp. 4939-4951 ISSN: 1094-4087
5.	D. GERACE; ANDREANI L.C. (2005). Effects of disorder on propagation losses and cavity Q-factors in photonic crystal slab <i>PHOTONICS AND NANOSTRUCTURES - FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS</i> vol. 3 pp. 120-128 ISSN: 1569-4410

dei partecipanti

1. E. Pavarini, L.C. Andreani, C. Soci, M. Galli, F. Marabelli, D. Comoretto; 2005; Band structure and optical properties of opal photonic crystals; Rivista: Physical Review E; Volume: 72; pp.: 045102; ISBN: 1539-3755
2. J.F. Galisteo-López, M. Galli, M. Patrini, A. Balestreri, L.C. Andreani, and C. López; 2006; Effective refractive index and group-velocity determination of three-dimensional photonic crystals by means of white-light interferometry; Rivista: Physical Review B; Volume: 73; pp.: 125103; ISBN: 1098-0121
3. M. Galli, A. Politi, M. Belotti, D. Gerace, M. Liscidini, M. Patrini, L.C. Andreani, M. Miritello, A. Irrera, F. Priolo, and Y. Chen; 2006; Strong enhancement of Er³⁺ emission at room temperature in silicon-on-insulator photonic crystal waveguides; Rivista: Applied Physics Letters; Volume: 88; pp.: 251114; ISBN: 0003-6951
4. M. Galli, D. Bajoni, F. Paleari, M. Patrini, G. Guizzetti, D. Gerace, M. Agio, L.C. Andreani, D. Peyrade, Y. Chen; 2005; Measurement of Photonic Mode Dispersion and Linewidths in Silicon-on-Insulator Photonic Crystal Slabs; Rivista: IEEE Journal of Selected Areas in Communication; Volume: 23; pp.: 1402; ISBN: 0733-8716
5. M. Galli, D. Bajoni, M. Patrini, G. Guizzetti, D. Gerace, L.C. Andreani, M. Belotti, Y. Chen; 2005; Single-mode versus multimode behavior in silicon photonic crystal waveguides measured by attenuated total reflectance; Rivista: Physical Review B; Volume: 72; pp.: 125322; ISBN: 1098-0121

10. Prodotti della Ricerca eseguita

1) Sono stati sviluppati o estesi i seguenti sistemi di misura:

- Set-up per trasmissione ed emissione su guide d'onda (0.9-1.7 micron). L'apparato può essere usato per la misura di trasmissione guidata, emissione dalla superficie o dal bordo della guida, misure di guadagno con tecniche variable stripe length (VSL) e shifting excitation spot (SES).
- Set-up per misure di trasmissione in guida d'onda con sorgente laser accordabile e possibilità di pompa con laser esterno impulsato.

2) E' stata acquisita e messa in opera la seguente strumentazione:

- Laser accordabile Santec TSL-210F, range spettrale 1.35-1.63 micron, con uscita in fibra a mantenimento di polarizzazione. Il laser contiene tre moduli con diodi laser a cavità esterna.
- Laser Nd:YAG Q-switched IMPEX HighTech con uscite a 1064 e 532 nm, impulsi di 2.5 ns, rep rate 10 kHz, potenza media 100 mW.
- Oscilloscopio veloce per misure di switching di bande fotoniche.

3) Sono stati pubblicati 26 articoli su riviste internazionali con referee.

11. Componenti dell'Unità di ricerca che hanno effettivamente partecipato alla ricerca

Personale docente

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Facoltà	Dipartimento/Istituto Università	I anno	II anno
1.	ANDREANI	Lucio	PO	SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI	Dip. FISICA Univ. PAVIA	8	6
2.	GUIZZETTI	Giorgio	PO	SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI	Dip. FISICA Univ. PAVIA	4	4
3.	PATRINI	Maddalena	RU	FARMACIA	Dip. FISICA Univ. PAVIA	4	4

altro personale

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Facoltà	Dipartimento/Istituto Università/Ente	mesi uomo effettiv. impegnati		Nota
						I anno	II anno	
1.	Galli	Matteo	ricercatore	SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI	Dip. Fisica "A. Volta", Univ. Pavia	8	6	
2.	Pavarini	Eva	ricercatrice		INFN - Istituto Nazionale per la Fisica della Materia	3	3	
3.	Balestreri	Alessandra	dottoranda	SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI	Dip. Fisica "A. Volta", Univ. Pavia	6	6	
4.	Galisteo- Lopez	Juan Francisco	dottore di ricerca		Dip. Fisica "A. Volta", Univ. Pavia		11	
5.	Bajoni	Daniele	dottore di ricerca		Dip. Fisica "A. Volta", Univ. Pavia	3		

Personale a contratto a carico del PRIN 2004 (escluse le borse di dottorato)

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Tipologia di contratto	Inizio del contratto	Durata del contratto in mesi	Costo totale in Euro	mesi uomo		Nota
								I anno	II anno	
1.	Gerace	Dario	dottore di ricerca	borsa di studio	01/01/2005	12	14.793	11	1	
2.	Liscidini	Marco	dottore di ricerca	incarico+borsa di studio	01/11/2005	13	17.258	2	11	
3.	Politi	Alberto	laureato	co.co.co.	01/02/2006	4	3.116		4	
4.	Bernardi	Ettore	laureato	collaborazione occasionale	01/02/2006	1	845		1	
5.	Maksymov	Ivan	dottore di ricerca	co.co.co.	01/10/2006	2	3.993		2	
TOTALE							40.005			

Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2004

n°	Cognome	Nome	Inizio del contratto (*)	Costo totale in Euro	3° anno a carico del Prin 2004 (**)	Nota
TOTALE				0	0	

Si ribadisce quanto precisato con circolare Prot. n. 35 del 2.3.2005 in merito alla borsa di dottorato da attivarsi in concomitanza con l'avvio del progetto di ricerca (30/11/2004)

(*) la data di inizio deve essere compresa tra il 30/11/2004 e il 28/02/2005

(**) da rendicontare successivamente

12. Note relative ai componenti (punto 11)

Galli Matteo: ricercatore INFN (poi CNR-INFN), unità di ricerca di Pavia fino al 30/4/2006, poi ricercatore universitario dal 1/5/2006

Pavarini Eva: ricercatrice INFN (poi CNR-INFN), unità di ricerca di Pavia

Galisteo-Lopez Juan Francisco: borsista post-dottorato del Ministero degli Esteri Spagnolo

Bajoni Daniele: borsista post-dottorato (a carico di altri progetti)

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate

	(mesi uomo)		
	I anno	II anno	TOTALE
personale universitario	16	14	30
altro personale	20	26	46
Personale a contratto a carico del PRIN 2004 (escluse le borse di dottorato)	13	19	32
Borse di dottorato	0	0	0

14. Dati complessivi relativi al programma

	(numero)
partecipazioni a convegni pertinenti:	
in Italia	25
all'estero	9
articoli pertinenti pubblicati:	
su riviste italiane con referee	
su riviste straniere con referee	26
su altre riviste italiane	
su altre riviste straniere	
comunicazioni a convegni/congressi internazionali pertinenti	21
comunicazioni a convegni/congressi nazionali pertinenti	9
rapporti interni	
brevetti depositati	

15. Tabella delle spese sostenute

Voce di spesa	Spese rimodulate	Pagato		Residuo da saldare (già fatturato)	Cifra impegnata	Totale spese sostenute	Descrizione (elementi contabili a giustificazione) (max 3000 Car. per ogni voce)
		I anno	II anno				
Materiale inventariabile	46.000	6.348	39.317			45.665	Assitec scanner € 77, fattura 437 del 1/6/05 Santec Europe acconto laser tunabile € 5400, fattura 40119 del 3/2/05 Misco scrivania € 590, fattura 131092 del 5/10/05 Centro di calcolo Microsoft Office pro € 101, mandato 54 del 14/2/06 (nota addebito 311/05 del 7.12.05) Laser Optronics accessorio spettrometro € 8500, fattura 351 del 6/6/06 Optoprime pompa laser €

							1384, fattura V00352 del 28/4/06 Assitec saldo PC € 267, fattura 108 del 8/2/06 Agilent oscilloscopio € 9650, fattura 1014046 del 2/8/06 Impex DE laser € 10980, fattura 0907 del 11/9/06 Essedi Shop due computer con monitor € 2716, fatture 1810/1811 del 27/10/06 Crisel spettrografo € 6000, fattura 72/PF del 29/11/06
Grandi Attrezzature	0	0				0	
Materiale di consumo	20.000	11.539	8.813			20.352	Micro-Control materiale ottico di laboratorio € 2110, fattura 93727 del 28/1/05 Crisel instruments fibre ottiche € 1080, fattura 166 del 26/4/05 Assitec materiale informatico e cancelleria € 304, fattura 347 del 2/5/05 Brambini solid ink per Xerox € 526, fattura 2978 del 20/6/05 Optoprim componenti ottiche € 3136, fattura 558 del 30/6/05 Optoprim componenti ottiche € 1855, fattura 559 del 30/6/05 ISP optics semisfere di silicio € 340, fattura 53529 del 9/5/05 Janos specchi € 492, fattura j0666359 del 14/7/05 Optoprim materiale di laboratorio per ottica € 2233, fattura V00575 del 28/4/06 Beta electronics green laser pointer € 258, fattura 38120 del 12/12/05 H2 informatica convertitore e cavi € 440, fattura 270 del 16/5/06 Optoprim Thorlabs materiale ottico € 1960, fattura V00575 del 30/6/06 Lot Oriel lampade € 850, fattura 358 del 26/7/06 Barzé serie viti e fresa € 330, fattura 114 del 30/6/06 Malocchi specchi su substrato vetro alluminato € 360, fattura 46 del 19/6/06 ISP Optics semisfere silicio € 895+214, fattura 56451 del 13/6/06 Edmund Optik materiale ottico € 332, fattura 4053887 del 6/7/06 Distrilab polystyrene latex particles € 307, fattura 1432/06090 del 23/10/06 Thorlabs filtri ottici € 315, fattura MI2066056 del 23/10/06 I restanti acquisti sono varie spese di importo inferiore a € 250 consistenti in componenti elettronici e

							ottici, cristalli, toner, materiale vario di laboratorio.
Spese per calcolo ed elaborazione dati	0	0				0	
Personale a contratto a carico del PRIN 2004	40.000	14.793	25.212			40.005	Gerace Dario, borsa di studio: mandato 194 del 6/4/05, € 14793 Liscidini Marco, collaborazione occasionale: mandato 1030 del 5/12/05, € 2465 Liscidini Marco, borsa di studio: mandato 364 del 12/5/06, € 14793 Politi Alberto, co.co.co: mandato 274 del 28/4/06, € 3116 Bernardi Ettore, collaborazione occasionale: mandato 339 del 9/5/06, € 830+15 Maksymov Ivan, co.co.co: mandato 802 del 13/10/06, € 3993
Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2004	0	0				0	
Servizi esterni	3.000	1.207	1.751			2.958	Campus catering per meeting Cofin € 180, fattura 45 del 23/5/05 Az. Valbona catering per meeting Cofin € 500 fattura 85 del 19/5/05 Copy service stampa poster € 174, fattura P126 del 17/6/05 Residenza Golgi ospitalità Juan Galisteo Lopez per seminario € 185, fattura 148 del 7/4/05 The Mathworks canone manutenzione software € 168, fattura 899 del 18/10/05 London taxi € 57, fattura 2 del 30/1/06 Medagliani catering per meeting € 450, fattura 60 del 31/1/06 Residenza Golgi Hotel Excelsior ospitalità Shaifur Rahman per seminario, € 330, fatture 464 del 13.12.05 e 896 del 5.12.05 Copy service locandine € 746, fattura P18 410 del 27/2/06 The Mathworks canone manutenzione software € 168, fattura 807 del 25/9/06
Missioni	10.000	5.744	4.256			10.000	Andreani Trento € 127 mandato 102 del 10/3/05 Belotti Genova € 28 mandato 111 del 10/3/05 Belotti Trento € 125 mandato 112 del 10/3/05 Bajoni Trento € 125 mandato 118 del 10/3/05 Balestreri Trento € 116, mandato 115 del 10/3/05 Andreani Trieste € 62,

							mandato 227 del 7/4/05 Gerace California (San Jose) € 891, mandato 119 del 10/3/05 Gerace Grecia (Heraklion) € 1105, mandato 532 del 11/7/05 Andreani Grecia (Heraklion) € 1493, mandato 559-561 del 11/7/05 Belotti Francia (Parigi) € 1571, mandato 756 del 8/9/05 Patrini Chivasso € 100, mandato 1006 del 5/12/05 Gerace Catanzaro € 187, mandato 122 del 6/3/06 Andreani Torino € 53, mandato 188 del 10/4/06 Belotti Firenze € 202, mandato 192 del 10/4/06 Liscidini Firenze € 161, mandato 196 del 10/4/06 Andreani Firenze € 168, mandato 197 del 10/4/06 Patrini Firenze € 176, mandato 198 del 10/4/06 Andreani ST Agrate € 30, mandato 204 del 10/4/06 Andreani Francia (Strasburgo) € 1662, mandato 307 del 9/5/06 Andreani Varese € 41, mandato 313 del 9/5/06 Andreani U.K. (Nottingham) € 350, mandato 548 del 4/7/06 Galli Catanzaro € 494, mandato 698 del 3/8/06 Andreani Catanzaro € 342, mandato 782 del 8/9/06 Patrini Roma € 389, mandato 987 del 8/11/06
Pubblicazioni	1.000	0	1.020			1.020	John Wiley rivista € 282, fattura 1255 del 18/5/05 Optical Society rivista € 739, fattura 122057 del 1/7/05
Partecipazione / Organizzazione convegni	5.000	0	5.000			5.000	Balestreri ICTON COST Nottingham € 496, mandato 688 del 3/8/06 Galli MRS Nizza € 1185, mandato 774 del 8/9/06 Andreani SIF Torino € 110, mandato 883 del 2/10/06 Galli SIF Torino € 24, mandato 884 del 2/10/06 Balestreri Convegno Struttura della Materia Levico € 223, mandato 891 del 2/10/06 Patrini EOS Parigi € 600, mandato 965 del 7/11/06 Galli EOS Parigi € 1115, mandato 984 del 7/11/06 Liscidini EOS Parigi € 1035, mandato 967 del 7/11/06 Patrini Convegno CNR Roma € 212, mandato 987 del 8/11/06
Altro	0	0				0	
Cifra impegnata						0	
TOTALE	125.000	39.631	85.369	0	0	125.000	

Tabella delle cifre impegnate

Voce di spesa	Cifra impegnata	Estremi dell'impegno		Descrizione dettagliata della cifra impegnata
		Data	Protocollo	
Pubblicazioni (esclusivamente dei risultati finali della ricerca)				
Convegni e congressi (presentazione esclusivamente dei risultati finali della ricerca)				
Borse di dottorato				
TOTALE	0			

Per ogni cifra impegnata ci deve essere una descrizione di almeno 100 caratteri.

Si ricorda che le cifre impegnate dovranno essere spese e rendicontate entro SETTEMBRE 2007 ad esclusione del Dottorato.

Per tutte le voci verrà richiesta apposita rendicontazione.

Totale spese sostenute

	(in Euro)
Totale finanziamento assegnato	125.000
Pagato	125.000
Residuo da saldare	0
Cifra impegnata	0
Totale spese sostenute	125.000
Residuo	0

(Per la copia da depositare presso l'Ateneo e per l'assenso alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati; D.lgs. 196/2003 del 30/06/2003 sulla "Tutela dei dati personali")

Data 10/01/2007 12:35

Firma



Programmi di ricerca cofinanziati - Modello C
Rendiconto di unità di ricerca - ANNO 2004
prot. 2004023725_004

1. Area Scientifico Disciplinare principale	02: Scienze fisiche
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	ANDREANI Lucio
- Università	Università degli Studi di PAVIA
- Facoltà	Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI
- Dipartimento/Istituto	Dip. FISICA
3. Titolo del programma di ricerca	Cristalli fotonici a base di Silicio per il controllo della propagazione e dell'emissione di luce
<hr/>	
4. Responsabile Scientifico dell'Unità di Ricerca	COLOCCI Marcello
- Università	Università degli Studi di FIRENZE
- Facoltà	Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI
- Dipartimento/Istituto	Dip. FISICA
5. TITOLO del programma dell'unità di ricerca	Controllo dell' emissione di luce in cristalli fotonici a base di Silicio
6. SETTORE principale dell'unità di ricerca:	FIS/03
7. Finanziamenti assegnati all'unità di ricerca:	
- Quota Ateneo	23.500 €
- Quota MIUR	54.700 €
- Finanziamento totale	78.200 €

8. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

In the following we will give an overview of the most important results obtained in this project.

I. Rewritable photonic circuits

Photonic crystals form a basis material for the future realization of optical components and circuits, and maybe even complex optical circuits or optical computers. Examples include complex waveguides, integrated microcavities, channel drop filters, optical switches and low-threshold lasers. All such devices depend on the inclusion of defect structures, non-linear materials and/or light-emitters into photonic bandgap material. The combination of several devices into one photonic crystal would allow to realize the optical equivalent of an electronic circuit. So far, the intentional inclusion of such combined structures was very difficult to realize in

practice, however.

We have realized a powerful technique that allows to create such photonic circuits inside photonic crystals by controlled micro-infiltration of liquid substances with sub-micron resolution. With this technique it is possible to address and infiltrate each pore of a two-dimensional photonic crystal individually with a liquid of specific refractive index and non-linear constant, and/or with a local light source. The described technology can be applied to realize photonic circuits in two-dimensional photonic crystals. Since each pore of the photonic crystal can be addressed individually, different materials can be combined to write complex photonic circuits containing waveguides, active elements and sources. One can choose to write photonic circuits that can be easily erased and re-written or create permanent structures using polymer composites. Beyond its fundamental application in integrated optics, the technique can be applied for any local infiltration application, e.g. to realize sensor chips by locally infiltrating a liquid that changes its optical properties when exposed to gas or biological species. We have applied the local infiltration technique, together with the group of Pavia, to infiltrate successfully a local source in a 2D photonic crystal cavity and observe its change in emission spectrum due to the density of the photonic crystal.

II. Self-alignment of liquid crystals in three-dimensional photonic crystals

Liquid crystals in confined geometries exhibit a complex but fascinating physical behaviour. Such systems are obtained when liquid crystal is infiltrated in porous materials with e.g. spherical, cylindrical or randomly shaped voids. The alignment of a nematic director field inside a porous structure is extremely complex due to the interaction between the liquid crystal molecules and the surface of the voids. When liquid crystals are incorporated in porous photonic structures one can control their optical properties, making use of the optical birefringence of the nematic phase which can often be oriented by external electric or magnetic fields. The nematic director field inside a photonic crystal is very complex and surface anchoring and other confinement effects usually impede electric field control over the nematic director.

We have observed self-alignment of nematic liquid crystals in three dimensional photonic crystals, before an electric field is applied. This resolves the issues related to confinement and allows to switch the liquid crystal electrically. We have studied photonic crystal opals infiltrated with liquid crystal in the nematic phase and observed optical birefringence due to self-alignment of the nematic director in a unique well-defined direction. This remarkable effect can be explained by the connectivity of the pores, according to a recent model by Lavrentovich and Palffy-Muhoray who show that liquid crystals in porous materials can self-align over large distances by the delicate interplay between bulk elastic and surface energies. We find that this is possible in opals due to a small but intrinsic structural anisotropy. We have used this phenomenon to realize the first strongly polarization dependent photonic bandgap that can be controlled electrically. This work is done in collaboration with the group of Giorgis at the Univ. of Torino.

III. Wave transport in random systems and slow waves: multiple resonance character of necklace modes

The transport of optical waves through disordered systems can exhibit remarkable interference effects, in analogy to the transport of electrons in solids. The most dramatic of all interference phenomena is that of strong localization. When a random system is strongly localized, the system eigenfunctions decay exponentially (with a characteristic length called localization length) thus making the diffusion coefficient vanish. This phenomenon, also known as Anderson localization, was first described for Schrödinger waves, but has very general validity and is now being investigated also for acoustic and electromagnetic waves and very recently even degenerate atom gases. Anderson localization has the extraordinary property that, when it occurs, diffusive transport comes to a halt and a disordered material starts to behave as an insulator. For optical waves the phenomenon can even be utilized to obtain laser action in random system by using the Anderson localized states as optical cavities. In three dimensions the occurrence of this phenomenon requires very strong scattering that, especially for optical systems, can only be achieved in selected materials. However, in one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) systems it is possible to demonstrate that Anderson localization always occurs for large enough samples.

Surprisingly enough, and against common belief, not all modes are exponentially localized in 1D random systems, even though Anderson localization occurs. In 1987, Pendry and Tartakovskii independently predicted the existence of so called necklace modes that can appear when two or more spatially separated resonances are degenerate in energy and thus hybridize to form a band. These states are delocalized modes in an otherwise localized system and, although rare, are predicted to dominate the average transmission. Initial evidence for the existence of necklace states was recently found in time-resolved transmission experiments by us last year where they were indirectly inferred through their time response.

This year we have observed the multiple-resonance behavior of optical necklace states directly via transmission measurements of the optical phase, in collaboration with the group of Andreani at the Univ. of Pavia and the group of Pavesi at the Univ. of Trento. This allows us to determine the number of resonances that constitute each optical mode and investigate their statistical behavior. One can clearly identify necklace modes consisting of two and three resonances in a large collection of otherwise single resonance localized modes. In addition, we have developed a model that allows to calculate the localization length analytically and predicts the number of n-order necklace modes. Theory and observations are in good agreement.

9. Pubblicazioni del responsabile

n°	Pubblicazione
1.	FRANCESCA INTONTI; SILVIA VIGNOLINI; VOLKER TRCK; MARCELLO COLOCCI; PAOLO BETTOTTI; LORENZO PAVESI; STEFAN L. SCHWEIZER; COLOCCI M.; DIEDERIK WIERSMA (2006). Rewritable photonic circuits <i>APPLIED PHYSICS LETTERS</i> vol. 89 pp. 211117-211119 ISSN: 0003-6951

2.	GHULINYAN M; OTON CJ; DAL NEGRO L; PAVESI L; SAPIENZA R; COLOCCI M.; WIERSMA DS (2005). Light-pulse propagation in Fibonacci quasicrystals <i>PHYSICAL REVIEW. B, CONDENSED MATTER AND MATERIALS PHYSICS</i> vol. 71 pp. 094204 ISSN: 1098-0121
3.	WIERSMA DS; SAPIENZA R; MUJUMDAR S; COLOCCI M.; GHULINYAN M; PAVESI L (2005). Optics of nanostructured dielectrics <i>JOURNAL OF OPTICS A-PURE AND APPLIED OPTICS</i> vol. 7 pp. S190 ISSN: 1464-4258
4.	DAL NEGRO L.; OTON C. J.; GABURRO Z.; PAVESI L.; JOHNSON P.; LAGENDIJK A.; RIGHINI R.; COLOCCI M.; WIERSMA D. S. (2003). Light transport through the band edge states of Fibonacci quasi crystals <i>PHYSICAL REVIEW LETTERS</i> vol. 90 pp. 055501 ISSN: 0031-9007

dei partecipanti

- Alexandra Ledermann, Ludovico Cademartiri, Martin Hermatschweiler, Costanza Toninelli, Geoffrey A. Ozin, Diederik S. Wiersma, Martin Wegener, and Georg von Freymann; 2006; Three-dimensional silicon inverse photonic quasicrystals for infrared wavelengths; Rivista: Nature Materials; Volume: 5; pp.: 942
- J. Bertolotti, M. Galli, R. Sapienza, M. Ghulinyan, S. Gottardo, L. C. Andreani, L. Pavesi, and D. S. Wiersma; 2006; Wave transport in random systems: Multiple resonance character of necklace modes and their statistical behavior; Rivista: Phys. Rev. E; Volume: 74; pp.: 035602
- J. Bertolotti, S. Gottardo, D.S. Wiersma, M. Ghulinyan, and L. Pavesi; 2005; Optical necklace states in Anderson localized 1D systems; Rivista: Phys. Rev. Lett.; Volume: 94; pp.: 113903
- M. Ghulinyan, C. Oton, Z. Gaburro, L. Pavesi, C. Toninelli and D.S. Wiersma; 2005; Zener tunneling of light waves in an optical superlattice; Rivista: Phys. Rev. Lett.; Volume: 94; pp.: 127401
- Stefano Gottardo, Matteo Burrelli, Francesco Geobaldo, Luca Pallavidino, Fabrizio Giorgis, and Diederik S. Wiersma; 2006; Self-Alignment of Liquid Crystals in Three-Dimensional Photonic Crystals; Rivista: Phys. Rev. E; Volume: 74; pp.: 040702(R)

10. Prodotti della Ricerca eseguita

Risultati scientifici molto importanti dei quali:

- L'osservazione di switching in cristalli fotonici infiltrati con cristalli liquidi. L'effetto e' il piu` significativo ottenuto fino ad ora nella letteratura. L'applicazione diretta e' nella realizzazione di materiali per optical switching.
- La prima osservazione di effetti di polarizzazione e birefrangenza in cristalli fotonici 3D.
- L'osservazione di slow waves tramite technique spettroscopiche sensibili alla fase e tramite misure risolte in tempo.
- La prima osservazione di stati 'necklace' per onde luminose in sistemi disordinati.

Inoltre e' stato sviluppato una nuova tecnica che permette l'infiltrazione locale e controllata di cristalli fotonici con liquidi su scala sub-micrometrica. Questa tecnica permette la realizzazione di circuiti fotonici riscrivibile. I risultati sono stati evidenziati anche da vari giornalisti, fra i quali da Philip Ball in Nature - Nanozone news, december 20 issue (2006).

11. Componenti dell'Unità di ricerca che hanno effettivamente partecipato alla ricerca

Personale docente

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Facoltà	Dipartimento/Istituto Università	I anno	II anno
1.	COLOCCI	Marcello	PO	SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI	Dip. FISICA Univ. FIRENZE	6	6

altro personale

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Facoltà	Dipartimento/Istituto Università/Ente	mesi uomo effettiv. impegnati		Nota
						I anno	II anno	
1.	lauria	gianfranco	tecnico	SCIENZE	fisica	6	6	
2.	neri	marco	tecnico	SCIENZE	fisica	6	6	
3.	toninelli	costanza	dottorando	SCIENZE	fisica	11	11	
4.	intonti	francesca	assegnista	ALTRE STRUTTURE	LENS	8	8	
5.	wiersma	diederik	primo ricercatore	ALTRE STRUTTURE	INFM-CNR	4	4	
6.	sapienza	riccardo	dottorando	ALTRE	LENS	11	11	

				STRUTTURE				
7.	cademartiri	ludovico	dottorando	ALTRE STRUTTURE	Univ. di Toronto		1	

Personale a contratto a carico del PRIN 2004 (escluse le borse di dottorato)

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Tipologia di contratto	Inizio del contratto	Durata del contratto in mesi	Costo totale in Euro	mesi uomo		Nota
								I anno	II anno	
1.	BARTHELEMY	PIERRE	personale scientifico esterno	CoCoCo	01/02/2006	2	3.633		2	
2.	ABBARCHI	MARCO	personale scientifico esterno	CoCoCo	01/05/2005	5	6.049	5		
3.	BURRESI	MATTEO	personale scientifico esterno	CoCoCo	01/05/2005	3	3.629	3		
4.	VIGNOLINI	SILVIA	personale scientifico esterno	CoCoCo	01/05/2005	7	8.469	7		
5.	RIBOLI	FRANCESCO	personale scientifico esterno	CoCoCo	01/06/2006	1	1.131		1	
TOTALE							22.911			

Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2004

n°	Cognome	Nome	Inizio del contratto (*)	Costo totale in Euro	3° anno a carico del Prin 2004 (**)	Nota
TOTALE				0	0	

Si ribadisce quanto precisato con circolare Prot. n. 35 del 2.3.2005 in merito alla borsa di dottorato da attivarsi in concomitanza con l'avvio del progetto di ricerca (30/11/2004)

(*) la data di inizio deve essere compresa tra il 30/11/2004 e il 28/02/2005

(**) da rendicontare successivamente

12. Note relative ai componenti (punto 11)

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate

	(mesi uomo)		
	I anno	II anno	TOTALE
personale universitario	6	6	12
altro personale	46	47	93
Personale a contratto a carico del PRIN 2004 (escluse le borse di dottorato)	15	3	18
Borse di dottorato	0	0	0

14. Dati complessivi relativi al programma

	(numero)
partecipazioni a convegni pertinenti:	
in Italia	10
all'estero	11
articoli pertinenti pubblicati:	
su riviste italiane con referee	0
su riviste straniere con referee	16
su altre riviste italiane	
su altre riviste straniere	

comunicazioni a convegni/congressi internazionali pertinenti	11
comunicazioni a convegni/congressi nazionali pertinenti	10
rapporti interni	2
brevetti depositati	1

15. Tabella delle spese sostenute

Voce di spesa	Spese rimodulate	Pagato		Residuo da saldare (già fatturato)	Cifra impegnata	Totale spese sostenute	Descrizione (elementi contabili a giustificazione) (max 3000 Car. per ogni voce)
		I anno	II anno				
Materiale inventariabile	20.000	3.814	16.655	0		20.469	<p>30/03/2006 FT. 234 del 10/2-Bagno ultrasuoni Euro 669,60 Fattura 2006/4251 LABORCHIMICA S.N.C</p> <p>26/04/2006 FT 21-2006 DEL 16/03-MOVIMEN ELETTR.+ ALIMENTATORE + MONTAGGI X SPECCHI Euro 3.813,53 Fattura 2006/6737 MICOS ITALIA GmbH</p> <p>12/09/2006 FT 453/06 DEL 01/09/06 (1 DI 2)- LASER Euro 1.068,00 Fattura 2006/17480 DB ELECTRONIC INSTRUMENTS S.R.L.</p> <p>24/10/2002 FT 1661/A DEL 19/7/02 ESSEDI SHOP ITALIA PERSONAL COMPUTER 774,06</p> <p>15/4/2003 FT 1157/A DEL 17/3/03 FRAELPOINT SRL COMPUTER E MONITOR 1333,80</p> <p>7/5/2003 FT 56 DEL 8/4/03 BONGI SRL MACCHINA FOTOGRAFICA DIGITALE 1000,00</p> <p>2/12/03 FT 792 DEL 23/10/03 ALCATEL VACUUM SYSTEMS POMPA ROTATIVA mod. 2063SD 557,70</p> <p>22/07/2003 FT 1536/A DEL 7/4/03 FRAELPOINT SRL MONITOR SVGA 125,40</p> <p>29/07/2003 FT 465/03 DEL 30/6/03 HAMAMATSU PHOTONICS PM R943/02</p>

						668,86
						07/03/2006 FT DEL 23/12/2005 DELTA UFFICIO SRL NOTEBOOK ACER ASPIRE 1595,28
						15/12/2004 FT DEL 2/11/2004 EQUIPMENT FOR TECHNO TELECAMERA INDIGO 2647,60
						23/03/2005 FT 714667 DEL 31/10/04 TNT GLOBAL EXPRESS AVALON 237,96
						19/04/2005 FT 3 DEL 13/1/05 LASER SOURCE SRL ALIMENTATORE STABILIZZATO 800,40
						8/11/2005 FT V00838 DEL 31/10/05 OPTOPRIM SRL MISURATORE DI POTENZA 1270,80
						26/04/2006 FT 21-2006 DEL 16/03-MOVIMEN ELETTR.+ALIMENTATORE (INV) MONTAGGI X SPECCHI (CONS) SAPIENZA 1.335,67
						30/11/2006 FT 710 DEL 27/11/2006 - SPECCI CRISTALLO (CONS) - TONINELL 7.656,00 2006/27060 LASER OPTRONIC S.P.A.
						12/11/2002 FT D/2796 DEL 31/10/02 DELTA UFFICIO SRL RILEGATRICE 465,60
Grandi Attrezzature	0	0				0
Materiale di consumo	16.200	2.002	14.668	0		16.670
						29/11/2006 FT 437/4627 DEL 29/11/06 - HAR DISK ESTERNO (INV) +ANTIVIRUS+MATERIALE INFORMATICO (CONS) 346,40 2006/27016 EURONICS CDS SUPERSTORE
						25/10/2006 FATT. 2601 DEL 04/10/2006 SOFTWARE PER STRUTTURE FOTONICHE B.O. 3603 CONS. RIBOLI 6.525,00 2006/22045 PHOTON DESIGN
						25/10/2006 FATT. 2601 DEL 04/10/2006 SOFTWARE PER STRUTTURE FOTONICHE B.O. 3603 CONS. RIBOLI

						1.305,00 2006/22045 PHOTON DESIGN
						30/05/2005 FATT.N 2043492 DEL 23/03/2005 B.O. 389 CONS. INTONTI 34,00 2005/5734
						28/09/2006 FATT. 2301060680 DEL 07/08/2005 SFERE VETRO B.O. 2793 CONS. GOTTARDO 106,40 2006/19169
						26/05/2005 FT.29/028423 del 23/3 (CONS)- VERNICE ELETTRONIC F. Intonti LENS 24,78 2005/5581 RS COMPONENTS S.P.A.
						30/05/2005 FATT.N 2043492 DEL 23/03/2005 B.O. 389 CONS. INTONTI 169,98 2005/5733 THORLABS GMBH
						20/10/2005 FATT. 4348 DEL 15/06/2005 B.O. 823 SEMICONDUTTORI CONS. GOTTARDO 471,25 2005/11428 MICRALYNE
						30/03/2006 FT. 234 del 10/2 (II)-materiale vari da laboratorio (CONS)-S. Gottardo 290,14 2006/4254 LABORCHIMICA S.N.C.
						12/09/2006 FT 453/06 DEL 01/09/06 (2 DI 2)- MATERIALE DA LABORATORIO (CONS) - GOTTARDO 1.070,04 2006/17482 DB ELECTRONIC INSTRUMENTS S.R.L.
						12/09/2006 FT 936 DEL 06/09/06 - DIAMOND GLASS CUTTER+MATERIALE VARIO (CONS) - GOTTARDO 364,80 2006/17511 ASSING S.P.A.
						28/09/2006 FATT. 2301060680 DEL 07/08/2005 SFERE VETRO B.O. 2793 CONS. GOTTARDO 532,00 2006/19168 DISTRILAB
						04/09/2006

						FT 88057527 DEL 30/04/06 (1 DI : SPEDIZIONI NAZIONALI MARZO/APRILE '06 41,12 2006/16937 TNT GLOBAL EXPRESS SPA
						06/09/2002 FT 125618/Y DEL 31/05/02 RS COMPONENTS SPA MATERIALE ELETTRICO VARIO 346,64
						06/11/2002 FT 112 DEL 8/10/02 DB ELECTRONIC INSTRUMENTS MATERIALE VARIO DA LABORATORIO 468,00
						05/09/2002 FT 3427/A DEL 1/7/02 FRAELPOINT SRL COMPONENTI PER PC 774,60
						31/10/2002 FT 5094/A DEL 22/10/02 FT 4910/A DEL 11/10/02 FRAELPOINT SRL MATERIALE INFORMATICO VAR 837,24
						01/04/2003 FT 200 DEL 31/1/03 DISCO ELETTRONICA SRL PRESA MULTIPLA 356,40
						23/05/2003 FT 594 DEL 29/10/02 RIMETPLAST SRL LASTRE PVC NERO 249,48
						15/12/2003 FT 60107874 DEL 23/10/03 MELLES GRIOT LENTI COLLIMAZIONE DIODO LASER 184,56
						10/03/2004 FT 27 E 28 DEL 31/1/04 PAOLETTI FERRERO SRL MATERIALE ELETTRONICO VAR 144,49
						30/03/2004 FT 41072 DEL 31/5/03 RIVOIRA SPA RIDUTTORI PER RASTRELLIER/ 746,40
						21/07/2003 FT 225/P DEL 31/5/03 ELETTRAMEC PILE E BLISTES STILO 109,44
						03/12/2003 FT 1636 DEL 7/11/03 VENTURI MAURO CARTUCCIE
						26/02/2004 FT 90474707 DEL 10/12/2003

						LEYBOLD VACUUM GMBH TUBI FLESSIBILI 343,85 24/05/2005 FT INTERNA DIPARTIMENTO RECUPERO MAGAZZINO 331,95 24/08/2004 FT 43829 DEL 31/5/04 RIVOIRA SPA ELIO LIQUIDO 1429,20 24/11/2004 FT 65059 DEL 31/7/04 RIVOIRA SPA ELIO LIQUIDO 558,29 22/07/2003 FT 2265/A DEL 22/5/03 FRAELPOINT SRL MATERIALE INFORMATICO 405,30
Spese per calcolo ed elaborazione dati	0	0				0
Personale a contratto a carico del PRIN 2004	23.000	18.148	4.763	0		22.911 08/06/2005 collaborazione coordinata e continuativa 01/05/05 - 31/06/05 - liquidazione maggio 2005 1.209,88 A.20300.51200.STRU.COLOMUR 2005/6040 ABBARCHI MARCO 08/06/2005 collaborazione coordinata e continuativa 01/05/05 - 31/08/05 - liquidazione maggio 2005 1.209,88 A.20300.51200.STRU.COLOMUR 2005/6041 VIGNOLINI SILVIA 08/06/2005 collaborazione coordinata e continuativa 01/05/05 - 31/07/05 - liquidazione maggio 2005 1.209,88 A.20300.51200.STRU.COLOMUR 2005/6043 BURRESI MATTEO 04/07/2005 collaborazione coordinata e continuativa 01/05/05 - 31/07/05 - liquidazione giugno 2005 1.209,88 A.20300.51200.STRU.COLOMUR 2005/6944 BURRESI MATTEO 04/07/2005 collaborazione coordinata e continuativa 01/05/05 - 31/08/05 - liquidazione giugno 2005 1.209,88 A.20300.51200.STRU.COLOMUR 2005/6956 VIGNOLINI SILVIA 04/07/2005

collaborazione coordinata e
continuativa 01/05/05 - 31/06/05 -
liquidazione giugno 2005
1.209,88
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2005/6987
ABBARCHI MARCO

01/08/2005
collaborazione coordinata e
continuativa 01/05/05 - 31/08/05
1.209,88
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2005/8241
VIGNOLINI SILVIA

01/08/2005
collaborazione coordinata e
continuativa 01/05/05 - 31/07/05
1.209,88
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2005/8242
BURRESI MATTEO

06/09/2005
collaborazione coordinata e
continuativa 01/05/05 - 31/08/05
1.209,88
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2005/9134
VIGNOLINI SILVIA

02/11/2005
Collaborazione Coordinata e
continuativa/attività di ricerca
01/10/05- 31/12/05 - ottobre 2005
1.209,88
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2005/11899
VIGNOLINI SILVIA

02/12/2005
Collaborazione Coordinata e
continuativa/attività di ricerca
01/10/05- 31/12/05 - novembre 20
1.209,88
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2005/14157
VIGNOLINI SILVIA

05/12/2005
Collaborazione Coordinata e
continuativa/attività di ricerca
01/10/05- 31/12/05 - dicembre 200
1.209,88
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2005/14244
VIGNOLINI SILVIA

09/12/2005
Collaborazione coordinata e
continuativa/attività di ricerca
01/11/05 - 1/12/05
3.629,21
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2005/14602
ABBARCHI MARCO

27/02/2006
Collaborazione Coordinata e
continuativa / attività di ricerca
01/02/06 - 31/03/06 - febbraio 200
1.816,61
A.20300.51200.STRU.COLOMUR
2006/494
BARTHELEMY PIERRE

						06/04/2006 Collaborazione Coordinata e continuativa / attività di ricerca 01/02/06 - 31/03/06 - marzo 2006 1.816,61 A.20300.51200.STRU.COLOMUR 2006/5142 BARTHELEMY PIERRE
						28/06/2006 Collaborazione Coordinata e continuativa / attività di ricerca 01/06/06 - 30/06/06 1.980,10 di cui 57% sull'attuale progetto (ovvero 1.131 Euro) LENS - Phoremest 2006/885 RIBOLI FRANCESCO
Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2004	0	0				0
Servizi esterni	0	0				0
Missioni	5.000	1.803	3.324	0		5.127 07/07/2005 RIMBORSO TORONTO E BOSTON 1.802,80 2005/7256 GOTTARDO STEFANO
						10/04/2006 RIMBORSO PARIGI 01/12/2005 887,26 2006/5468 SAPIENZA RICCARDO
						10/04/2006 RIMBORSO PARIGI GENN. 2006 1.077,04 2006/5483 SAPIENZA RICCARDO
						10/04/2006 RIMBORSO 1.032,23 2006/5486 CADEMARTIRI LUDOVICO
						18/05/2006 RIMBORSO DRESDA E MADRID 464,63 2006/8461 SAPIENZA RICCARDO
Pubblicazioni	6.000	3.198	17			3.215 04/04/2006 DOC. GEN. 385 - REPRINTS "QU TWO DIMENSIONAL..." - GOTTARDO - \$ 20 - CARTA CREDITO 17,48 2006/4673 AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS
						14/12/2005 FATT. C 129817 DEL 17/06/2005 REPRINTS A COLORI GOTTARD 1.586,81 2005/14894 AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS
						07/10/2005 BO 178-\$1909-Reprints "Quasi-tw

							dimensional diffusive random.." Gottardo-Wierma-CARTA CREDIT 1.611,61 2005/10677 AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS
Partecipazione / Organizzazione convegni	8.000	424	7.714	0		8.138	18/10/2006 RIMBORSO CONGRESSO OSA META 2006 1.972,95 2006/21399 SAPIENZA RICCARDO 10/08/2006 RIMBORSO CONGRESSO OSA BAHAMAS 1.527,53 2006/15762 TONINELLI COSTANZA 21/09/2006 RIMBORSO OSA 2006 1.327,79 2006/18591 BERTOLOTTI JACOPO 11/10/2006 RIMBORSO TORINO SIF 2006 301,60 2006/20543 WIERSMA DIEDERIK 12/10/2006 RIMBORSO CONGRESSO SPIE SAN DIEGO 2006 3.007,20 2006/20621 WIERSMA DIEDERIK
Altro	0	0				0	
Cifra impegnata					1.670	1.670	
TOTALE	78.200	29.389	47.141	0	1.670	78.200	

Tabella delle cifre impegnate

Voce di spesa	Cifra impegnata	Estremi dell'impegno		Descrizione dettagliata della cifra impegnata
		Data	Protocollo	
Pubblicazioni (esclusivamente dei risultati finali della ricerca)	1.670	18/10/2006	2006/20153, ordine reprints	Reprints "Spontaneous alignment...", American Physical Society, and colour reprints of the Journal of Applied physics Letters, AIP ID:202647apl,
Convegni e congressi (presentazione esclusivamente dei risultati finali della ricerca)				
Borse di dottorato				
TOTALE	1.670			

Per ogni cifra impegnata ci deve essere una descrizione di almeno 100 caratteri.

Si ricorda che le cifre impegnate dovranno essere spese e rendicontate entro SETTEMBRE 2007 ad esclusione del Dottorato.

Per tutte le voci verrà richiesta apposita rendicontazione.

Totale spese sostenute

--	--

	(in Euro)
Totale finanziamento assegnato	78.200
Pagato	76.530
Residuo da saldare	0
Cifra impegnata	1.670
Totale spese sostenute	78.200
Residuo	0

(Per la copia da depositare presso l'Ateneo e per l'assenso alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati; D.lgs. 196/2003 del 30/06/2003 sulla "Tutela dei dati personali")

Data 11/01/2007 15:20

Firma



Programmi di ricerca cofinanziati - Modello C
Rendiconto di unità di ricerca - ANNO 2004
prot. 2004023725_002

1. Area Scientifico Disciplinare principale	02: Scienze fisiche
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	ANDREANI Lucio
- Università	Università degli Studi di PAVIA
- Facoltà	Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI
- Dipartimento/Istituto	Dip. FISICA
3. Titolo del programma di ricerca	Cristalli fotonici a base di Silicio per il controllo della propagazione e dell'emissione di luce
<hr/>	
4. Responsabile Scientifico dell'Unità di Ricerca	GIORGIS Fabrizio
- Università	Politecnico di TORINO
- Facoltà	Facoltà di INGEGNERIA III
- Dipartimento/Istituto	Dip. FISICA
5. TITOLO del programma dell'unità di ricerca	Fabbricazione di cristalli fotonici a base di Silicio a diversa dimensionalità
6. SETTORE principale dell'unità di ricerca:	FIS/03
7. Finanziamenti assegnati all'unità di ricerca:	
- Quota Ateneo	25.600 €
- Quota MIUR	59.500 €
- Finanziamento totale	85.100 €

8. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

L'Unità di Torino, accorpa gruppi di Ricerca del Politecnico di Torino (Dip. di Fisica e Dip. Scienze dei Materiali) e del Laboratorio TASC-INFN-CNR di Trieste (gruppo LILIT). L'attività di ricerca, articolata nei due anni, può essere sintetizzata nei seguenti punti:

- a) Processi per la realizzazione di guide d'onda planari a ridge e a cristallo fotonico basati su Nitruro di Silicio
- b) Processi per la realizzazione di opali diretti di Silice con infiltrazione di coloranti organici, cristalli liquidi e Silicio amorfo

a) presso l'Unità di Torino sono state realizzate guide d'onda planari in Nitruro di Silicio sottostechiometrico avente elevata efficienza di luminescenza a temperatura ambiente per studi di propagazione guidata con sorgente di emissione intrinseca. Le guide a ridge sono state realizzate depositando bi-strati $\text{SiO}_2/\text{a-SiN:H}$ con tecnica di Plasma Enhanced CVD e successivo ottenimento del canale guidante in a-SiN:H utilizzando litografia ottica e Reactive Ion Etching (RIE); le perdite misurate su alcune strutture prototipali sono dell'ordine di 15 dB/cm ma la risoluzione di problemi di natura litografica permetterà di abbassarle di circa

un ordine di grandezza.

Sono stati inoltre realizzati cristalli fotonici 1D e 2D (cavità Fabry-Perot) con tecnica FIB su guide d'onda passive in a-Si₃N₄ [1] (realizzate presso l'Unità di Trento) e guide luminescenti (realizzate presso l'Unità di Torino).

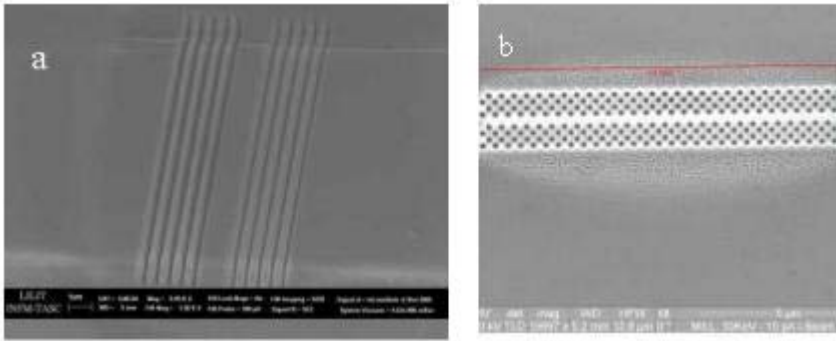


Fig. 1 - Strutture 1D e 2D realizzate via FIB su guide d'onda planari a base di Nitruro di Silicio

Partendo da bistrati SiO₂/a-SiN:H, utilizzando processi di litografia a fascio elettronica e RIE sono inoltre state realizzate strutture a cristallo fotonico 2D con guide a difetto lineare.

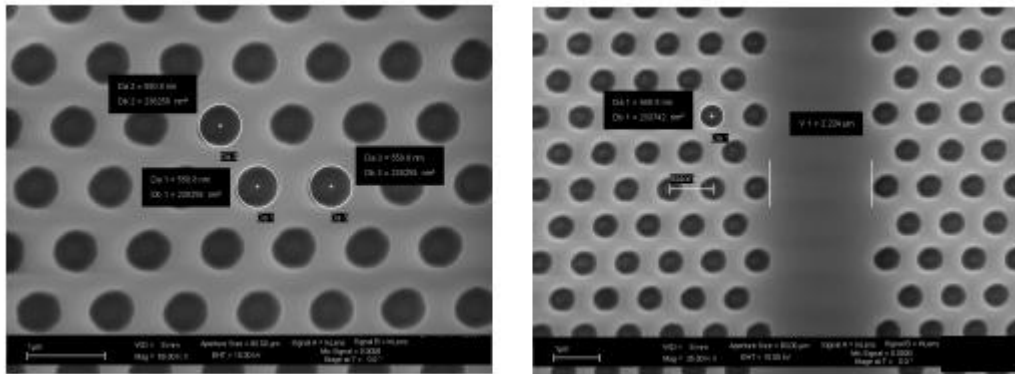


Fig. 2 - Strutture 2D realizzate su a-SiN:H sottostechiometrico luminescente

b) Nell'ambito della realizzazione di strutture 3D, sono stati ottimizzati i processi di sintesi di nanosferule di Silice mediante idrolisi di tetra-etil-orto-silicato (TEOS) utilizzando NH₃ come catalizzatore. L'attuale procedura consente di realizzare sfere con diametri controllabili da 170 a 600 nm e dispersione del diametro inferiore al 5% operando esclusivamente sulla concentrazione di TEOS [2].

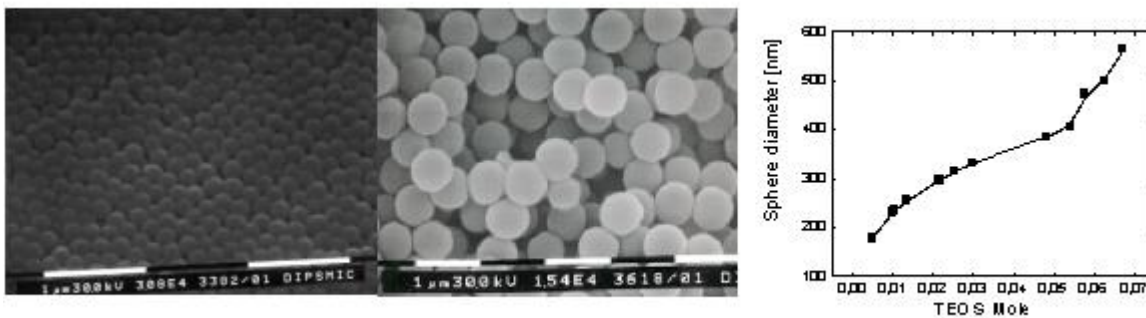


Fig.3 -Esempi di nanosfere di Silice a diversi diametri (analisi SEM); il grafico evidenzia l'andamento monotono del diametro sfere in funzione delle moli di TEOS utilizzate durante la sintesi, nonché l'ampia gamma di taglie ottenibili.

Opali diretti a struttura fcc sono stati realizzati sia con tecnica di dip-coating (consistente nella deposizione dell'opale su substrato inserito inclinato nella soluzione colloidale contenente le nanosfere, a temperatura controllata, spessore ottenibile 1-20 micron) che con sedimentazione naturale (deposizione ottenuta sul fondo del baker contenente la soluzione colloidale, spessore ottenibile diverse centinaia di micron). La buona qualità delle strutture (a simmetria fcc) è stata evidenziata particolarmente per i campioni ottenuti da dip-coating che presentano polidomini con omogenea orientazione preferenziale. Le caratteristiche morfologiche sono state sondate con microscopie ottiche confocali, SEM ed AFM.

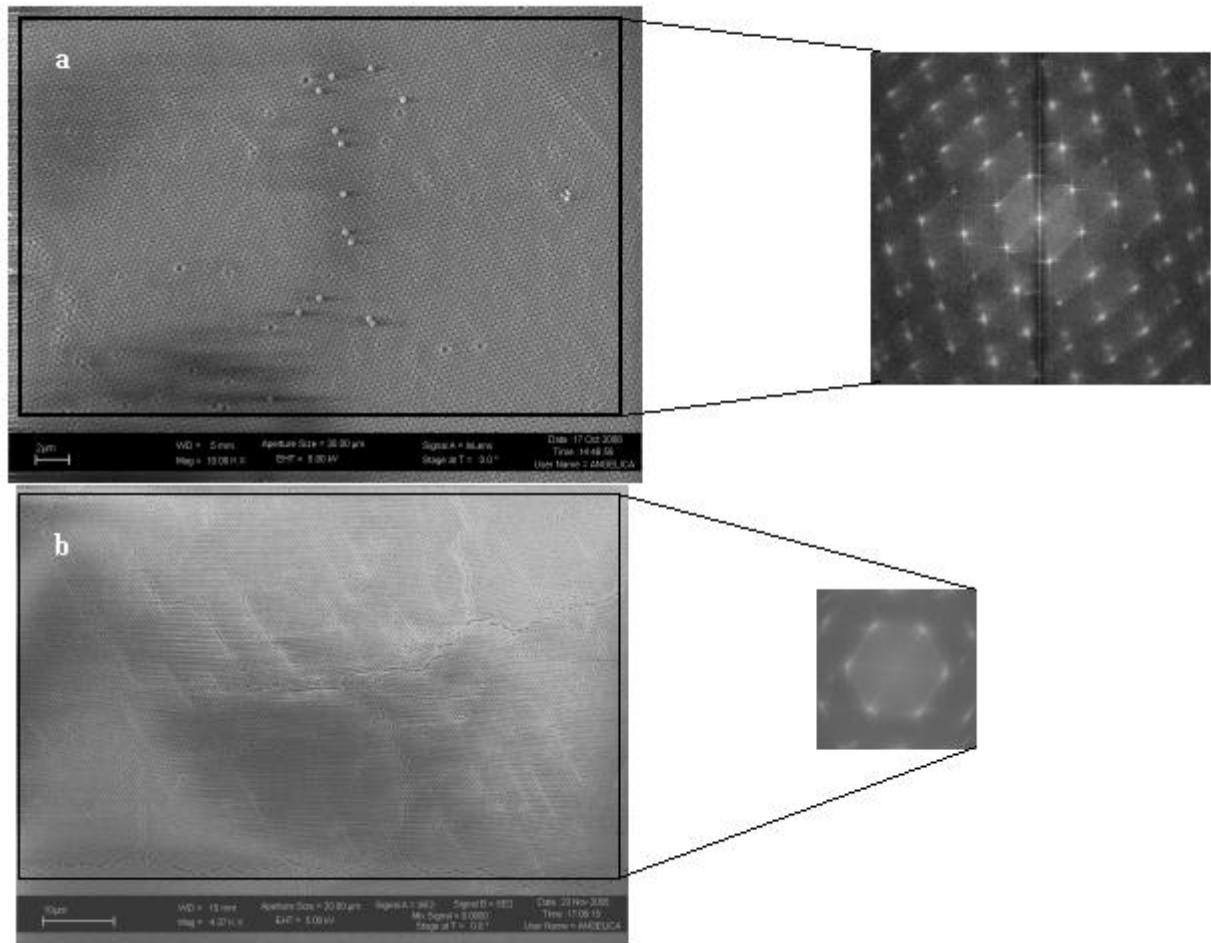


Fig.4 - Opali diretti a base di Silice (a: monodominio, b: polidomini); l'analisi FFT rende conto dell'elevata qualità delle strutture.

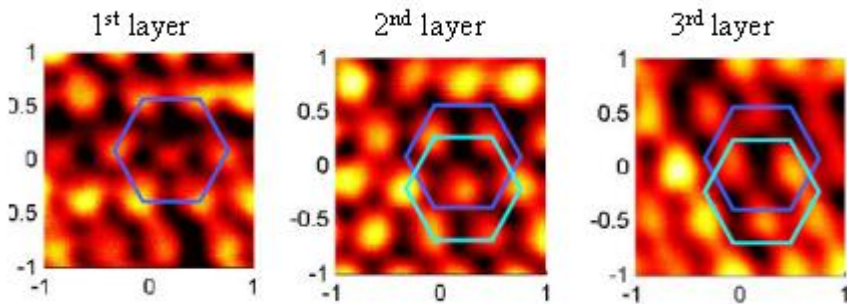


Fig.5 - Misure di un opale diretto (diametro sfere 450 nm) al microscopio ottico confocale a scansione laser; la parziale trasparenza delle sferule di Silice alla lunghezza d'onda di probe (532 nm) consente di visualizzare 3 strati della struttura (impilamento ABC proprio della struttura fcc)

Alcuni opali diretti a base di silice sono stati infiltrati presso l'Unità di Firenze con cristalli liquidi (E7) e sono stati condotte misure di riflettanza spettrale risolta in angolo e in polarizzazione sotto l'azione di campi elettrici (0-50 V/micron), che hanno mostrato notevoli effetti di switching ottico imputabile al carattere birifrangente della struttura, ottenuta per auto-orientazione delle molecole nematiche indotte dall'anisotropia strutturale delle matrici [3].

Al fine di analizzare l'influenza della struttura fotonica sull'emissione spontanea, diversi opali sono stati infiltrati con coloranti organici con emissione nel visibile-vicino IR (Cianine e Ossazine) [4]. Alternative strutture sono state realizzate con opali cresciuti su film sottili di a-SiN:H luminescente [5]. L'inibizione dell'emissione dei coloranti e dei film di Nitruro di Silicio in direzione normale rispetto alla superficie (111) degli opali è stata verificata in corrispondenza degli pseudo-gap (punto critico L nella prima zona di Brillouin associata alla struttura fcc).

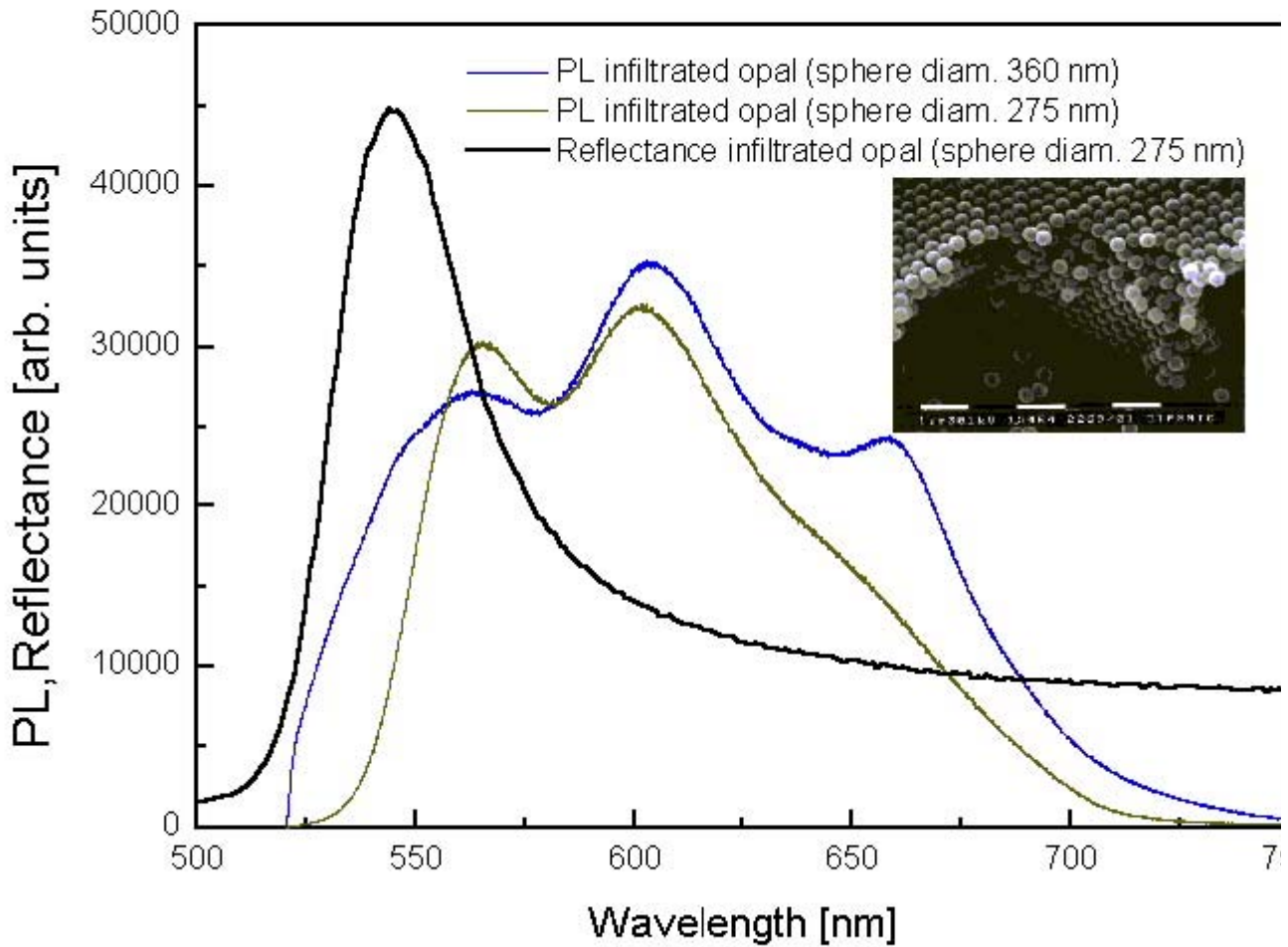


Fig. 6 - Spettri di luminescenza di 2 opali infiltrati con Cianina aventi differente passo reticolare (quindi diametro sfere costituenti); si evidenzia per l'opale con diametro sfere inferiore l'inibizione all'emissione in corrispondenza allo pseudo-gap evidenziato dal picco di riflettanza (configurazione di quasi-backscattering) sovrapposto agli spettri di emissione. L'inset mostra un'immagine SEM di un tipico opale diretto a base Silice.

Sono stati infine realizzati opali inversi di Silicio infiltrando gli opali in Silice con Silicio amorfo utilizzando un reattore di crescita CVD, con rimozione del template in Silice ottenuta con etching umido in HF.

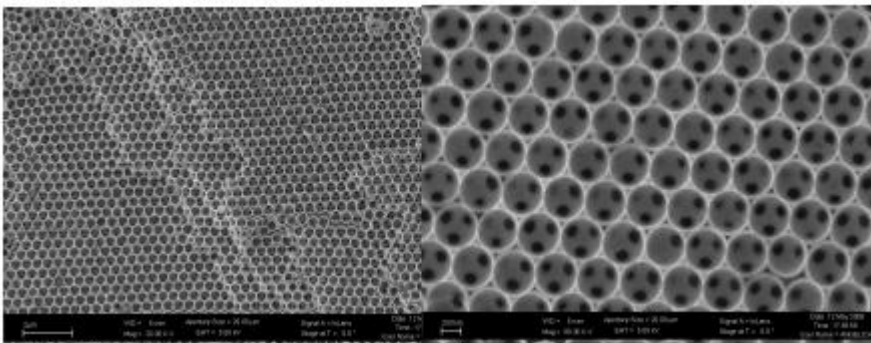


Fig. 7 - Opali inversi a base di Silicio

Opali diretti in Silice, infiltrati (Silice + Silicio) e inversi (Silicio) sono stati caratterizzati con spettroscopia di riflettanza ad angolo variabile che grazie al modeling basato su matrici di scattering ha permesso di evidenziare correlazioni con le bande fotoniche delle nanostrutture (attività caratterizz. e di simulazione svolte presso l'Unità di Pavia) [5]

[1] D. Gerace, M. Galli, D. Bajoni, G. Guizzetti, L. C. Andreani, F. Riboli, M. Melchiorri, N. Daldosso, L. Pavesi, G. Pucker, S.

Cabrini, L. Businaro, E. Di Fabrizio, "Wide-band transmittance of one-dimensional photonic crystals carved in Si₃N₄ / SiO₂ channel waveguides", Appl. Phys. Lett. 87 (2005) 211116
[2] D. Santamaria, L. Pallavidino, E. Garrone, F. Geobaldo, E. Descrovi, A. Chiodoni, F. Giorgis, "A facile one-step synthesis of silica nanospheres for the fabrication of opal photonic crystals" to be submitted on J. Mat. Chemistry
[3] S. Gottardo, M. Burrelli, F. Geobaldo, L. Pallavidino, F. Giorgis, D. S. Wiersma, "Self-alignment of liquid crystals in three-dimensional photonic crystals", Phys. Rev. E 74 (2006) 40702
[4] F. Geobaldo, D. Santamaria Razo, F. Frascella, A. Venturello, E. Descrovi, A. Chiodoni, C. Ricciardi, F. Giorgis, G. Viscardi, C. Barolo, "Fluorescence of bare and dye-impregnated opals", submitted to PECS VII
[5] L. Pallavidino, D. Santamaria Razo, F. Geobaldo, A. Balestrieri, D. Bajoni, M. Galli, L. C. Anreani, C. Ricciardi, E. Celasco, M. Quaglio, F. Giorgis, "Synthesis, characterization and modelling of Silicon based opals" J. Non-Cryst. Solids 352 (2006) 1425

DETTAGLIO RENDICONTAZIONE SPESE DI CONSUMO

Aboglass S.n.c. Teca in plexiglass € 186 ft. Ft. 93 del 30.04.2006
Agar mater piccolo lab Chivasso € 198 fatt. 686 del 27/06/05
Alfabeta Grafica maschere per litografia fatt. 182 del 15/09/06
Ape Research materiale vario fatt. 14/2006 del 28/07/06
Articoli scientifici SPIE Proceedings € 25,26 Unicredit Banca S.p.A. ESTRATTO CONTO N° 981239
Assing materiale manutenzione camera pulita lab Chivasso € 2100 Ft. 334 del 30.03.2006,
Assing piccolo mater per camera pulita € 680,4 Ft. 284 del 23.3.06
Assing trasp piccolo mater per camera pulita € 21,6 Ft. 284 del 23.3.06
Brewer Science resist per bulk micromachining € 832,01 Unicredit Banca S.p.A. E/c n°934819/02 - 28/2/06
CEM Manut annuale estitntori labor Chivasso Ft.1774 del 31.01.2006
Clariant Developer € 359,52 Fattura n. 183 del 28.4.2006
Coba alluminio per laboratorio € 23,19 Ft. 797 del 31.03.2006
Comso Ab software di simulazione € 1074 FATT.N°3601121 del 14/11/05
Comso Ab software di simulazione Iva intracomunit € 214,8 fatt. 3601121 del 14/11/05
Creative s.n.c. software Origin 7.5 € 640,8 FT. N° 756 DEL 17.11.05
CSR smaltimento rifiuti tossici € 180 Ft. 314 del 31.05.2006 ed € 216 Ft. 314 del 31.05.2006
Fujifilm Electronic Materials resist e developer € 226 FATT. N° 78 DEL 28.4.06 ed € 480 Fattura n. 35336 del 30.04.2006
Gambetti pacchetto sftware controllo fascio elettronico EDX fatt. n° 53/X
Idro service mat per labor, € 193,82 fatt 496 del 04/07/06
Manna materiale elettrico € 507,19 fatt. 3703 del 20/09/2006
Mikro Mashc Punte per AFM, € 462 fatt 206066IT del 28/06/06
Rivoira n. 7 bombole di azoto Ft. 46055 del 31.5.2006, n. 7 bombole di azoto € 235,2 ft. 58159 del 30.6.2006,
Palmas - vetrini € 468,72 fatt n. 62 del 05/10/06
PICCOLE SPESE GIUGNO-SETTEMBRE 2006 - A. TAGLIAFERRO
Poliservice poster FATT.N°371 DEL 13.9.05 € 136,8 e € 96 fatt. 275 del 27/06/05
Politeko CANCELLERIA VARIA ANNO 2006 - PROF. TAGLIAFERRO - Fattura n. 119/B del 10.04.2006 - ACCONTO
Rebecchi Edo riparazione compressore € 210,04 FT. n. 488 del 30.11.2005
Rivoira affitto dewar € 60 ft.N° 118586 DEL 31.12.05 ed €60 ft.11898 del 28/2/06, € 60 FATT. N° 118586 DEL 31.12.05, € 60 FATT. N° 34543 DEL 30.4.06, € 60 Fattura n. 1774 del 31.01.2006, € 60 FATT. N° 11899 DEL 28.2.06, € 60 FATT. N° 22822 DEL 31.3.06
Rivoira bomb. Azoto € 561,60 FATT. N° 23733 DEL 31.3.06, € 705,60 fatt 70432 del 31/07/06, € 360 Fatt. n° 12751 del 28.2.06, € 336 fatt. 35336 del 30/04/06, € 100,8 Ft. 58158 del 30.6.2006, € 100,80 Ft. 46054 del 31.07.2006, € 57,60 Ft. 23732 del 31/03/2006
Rivoira Azoto liquido € 18 FATT. N° 11899 DEL 28.2.06, €215,35 Fattura n. 1775 del 31.01.2006, fatt 1775 del 31/01/06 Ft 1774 del 31.01.2006, € 197,14 FATT. N° 107669 DEL 30.11.05, € 215,35 fatt. 118587 del 31/12/05,
Rivoira manichetta € 180 FT. N°106944 DEL 30.11.05
Rivoira messa a disposizione bombole forfait anno 2006 € 600 Ft. 46052 del 31.5.2006
Ronchini M. Spedizione revisione attrezzatura € 36 Ft. 67 del 5.6.2006 e € 44,40 Ft. 67 del 5.6.2006
S.S.White uggelli e polveri per microsabbriatrice € 252,09 (ESTRATTO CONTO N°978033 DEL 31.5.06 UNICREDIT BANCA S.P.A.)
Sachim acido solforico € 164,59 Ft. 212 del 28.4.2006, KOH e perossido di ossigeno € 397,92 Fattura n. 190 del 13.4.2006, KOH trasp perossido di ossigeno € 19,2 Fattura n. 190 del 13.4.2006, acido solforico €19,2 Ft. 190 del 13.04.2006
Sargomma O-RING IN NBR 70 SH - Fattura n. 748 del 5.9.2006
Seminario di Oliva M. del 03/04/06 € 203,45 mand. 2006/396 del 05/08/2006
Sigma - Aldrich materiale da laboratorio chimico € 49,68 FT. n. 190651886 DEL 30.11.05, € 495,72 FT. n. 190650200 del 25.11.05, Tioli fatt. 8280022570 del 07/04/06 acconto Tioli fatt. 8280022570 del 07/04/06 saldo materiale chimico € 118,32 Ft 8280009924 del 1.3.2006 e € 24 Ft. 8280009924 del 1.3.2006
Siltronix Silicon Wafer € 741,52 fatt. 06/06011 del 07/06/06, € 741,52 fatt. 06/06011 del 07/06/06iva intracomunitaria.spese doganali € 88,04 FATT. N° 20066985 DEL 10.5.06
Ultrasil SIO Wafers spese doganali € 318,48 reintegro spese Giorgis F. mand. 2006/619 del 22/06/2006
Ultrasil SIO Wafers, € 1574,40 fatt 26359 del 09/06/06
REINTEGRO SPESE POSTALI FEBB./MARZO '05 € 33,17 mand. 2005/129 del 31/03/05
REINTEGRO SPESE POSTALI - APRILE 2005 €7,40 mand. 2005/245 del 10/05/05
MATERIALE INFORMATICO € 90,27 mand. 2005/250 del 18/05/05
REINTEGRO PICCOLE SPESE APRILE '05 € 144,80 mand. 2005/303 del 27/05/05
Politeko Cancelleria varia € 49,22 mand 2005/336 del 03/06/05

Allora G. MATERIALE VARIO DI FERRAMENTA € 12,14 fatt 54 del 28/02/05
SIEM - IMPIANTI ELETTRICI FISSAGGIO NUOVE TUBAZIONI E CENTRALINO € 72 ft 50 del 06/05/06
C.I.E. DENTALFARM S.R.L. GRANA DI OSSIDO DI ALLUMINIO € 112,32 ft 610 del 18/05/05
REINTEGRO PICCOLE SPESE APRILE/GIUGNO '05 € 109,02 mand 2005/554 del 22/06/05
ALLORA GI MATERIALE VARIO DI FERRAMENTA MARZO 2005 € 21,26 ft 84 del 15/03/05
Politeko Materiale vario di cancelleria€ 142,56 ft 210 del 24/05/05
REINTEGRO SPESE POSTALI GIUGNO/LUGLIO '05 € 104,85 mand 2005/920 del 03/10/05
POLI SERVICE S.N.C. STAMPA POSTER € 45,60 FATT.N°369 del 13/09/05
REINTEGRO SPESE DICEMBRE 2005 € 34,26 mand. 2005/1234 del 21/12/05
REINTEGRO SPESE DICEMBRE 2005 € 102,60 mand. 2005/1325 del 21/12/05
REINTEGRO SPESE POSTALI DICEMBRE 2005 € 184,94 mand 2005/1341 del 22/12/05
FOTODIODI € 45,26 mand. 2005/1388 del 27/12/05
ALLORA G MATERIALE VARIO DI FERRAMENTA € 75,42 ft 325 del 14/10/05
ACQUISTO DI RACCORDI VARI € 73,07 mand 2006/37 del 15/02/06
ARMARI GIAN MICHELE & C.S.A.S. MATERIALE ELETTRICO VARIO € 24,20 FT. N° 15/A del 19/10/05
ALLORA G MATERIALE VARIO DI FERRAMENTA € 63,78 FT. N° 376 DEL 15.11.05
Reintegro spese postali gennaio/febbraio 2006 € 28,30 mand 2006/159 del 17/03/06
REINTEGRO PICCOLE SPESE NOV./FEBBRAIO 2006 € 248,30 mand 2006/171 del 21/03/06
Politeko Materiale vario di cancelleria € 140,44 saldo fatt. n° 421/d del 28/12/05
Rimborso per l'acquisto di una lastra in Pehd e lastra in Pmma € 114 mand 2006/351 del 20/04/06
SINTHESI QUATTRO SRL PELLICOLE PER PROGETTO UNO E PER MASCHERE POLITECNICO € 33,86 -FATT. N° 22 del 31/01/06
Reintegro spese postali Gennaio/Maggio 2006 € 152,32 mand 2006/454 del 25/05/06
Reintegro piccole spese Febb./Maggio 2006€ 200,71 mand 2006/467 del 25/05/06
RS COMPONENTS S.P.A. PUNTE PER FRESA € 8,44 Fattura n. 30/036733 del 27.03.2006
DISPEA - NOTA ADDEBITO n. 1/2006 PRESTAZIONI OFFICINA MECCANICA € 440
Politeko MATERIALE VARIO DI CANCELLERIA € 104,57 fatt. 63 del 06/03/06
RIMBORSO SPESE PER ACQUISTO BARRA RAME-DR. L. SCALTRITO € 172,99 mand 2005/1 del 01/02/05
Reintegro piccole spese Gennaio 2005 € 85,75 mand 2005/71 del 16/03/05
TUBO BIFILARE TONDO - PREPAGATO DAL DR. D. CHIARETTA € 89,28 mand 2005/85 del 18/03/05
RIMBORSO SPESE mat labor € 66,72 mand 2005/166 del 14/04/05
CENTRO ESTINTORI MONFERRATO S.N.C. MANUTENZIONE € 189,60 fatt 184 del 31/01/05
COPISISTEM S.R.L. Alimentatori per PC€ 168 ft 800 del 25/02/05
POLI SERVICE S.N.C. stampa poster € 48 ft 64 del 26/02/05
C.I.E. DENTALFARM S.R.L. POLVERI ABRASIVE DI SABBIATURA € 114,24 ft 392 del 31/03/05
REINTEGRO SPESE POSTALI GIUGNO '05 € 92,95 mand. 2005/567 del 23/06/05
RIVOIRA SPA - MANCATA ROTAZIONE BB SPECIALI € 132 FT. 22085 DEL 31.03.05
CRV S.R.L.-CENTRO RAPPRESENTANZE VUOTO NAVICELLE, FILAMENTI E CROGIOLI€ 438 ft F5-022 del 08/05/05
EN.CO S.R.L. MATERIALE PER MICROSABBIATRICE € 282 ft 314 del 25/02/05
REINTEGRO SPESE POSTALI DICEMBRE 2005€ 19,17 mand. 2005/1339 del
SIEM - IMPIANTI ELETTRICI INSTALLAZIONE CENTRALINI DI PRESE E LINEE TRASMISSIONE DATI -€ 131,22 FT. n. 135 del 9.12.05
Rimborso COMPONENTI ELETTRONICI€ 172,26 mand 2006/90 del 28/02/06
ALLORA G MATERIALE VARIO DI FERRAMENTA € 6,79 mand 325 del 14/10/05, € 237,02 FT. N° 445 DEL 15.12.05, € 132,52 FT. N° 431 DEL 15.12.05, € 7,35 FT. N° 447 del 15/12/05
SIEM - IMPIANTI ELETTRICI € 1404,78 FT. n. 135 del 9.12.05
RIMBORSO SPESA TANICHE ALLUMINIO C/O DITTA DENTALFARM € 68,60 mand 2006/819 del 07/08/06
REINTEGRO SPESE POSTALI € 213,57 mand 2006/1018 del 28/09/06
REINTEGRO PICCOLE SPESE € 77,83 mand 2006/1037 del 29/09/06, € 141,95 mand 2006/1040 del 02/10/06
RS TORSIOMETRO 0-4 NM - € 224,47 Fattura n. 30/068728 del 8.6.2006
palmas MATERIALE OTTICO € 310,44 Fattura n. 53 del 28.7.2006
Politeko TONER VARI € 1625,4 FATT. N° 262 DEL 5.9.06
Alfabeta grafica N. 15 MASCHERE LITOG.€ 180 FATT. N. 205 DEL 20.10.2006

9. Pubblicazioni del responsabile

n°	Pubblicazione
1.	S. GOTTARDO; M. BURRESI; F. GEOBALDO; L. PALLAVIDINO; GIORGIS F.; D. S. WIERSMA (2006). Self-alignment of liquid crystals in three-dimensional photonic crystals <i>PHYSICAL REVIEW E, STATISTICAL, NONLINEAR, AND SOFT MATTER PHYSICS</i> vol. 74 pp. 40702-40704 ISSN: 1539-3755
2.	L. PALLAVIDINO; D. SANTAMARIA RAZO; F. GEOBALDO; A. BALESTRERI; D. BAJONI; M. GALLI; L. C. ANDREANI; C. RICCIARDI; E. CELASCO; M. QUAGLIO; GIORGIS F. (2006). Synthesis, characterization and modelling of Silicon based opals <i>JOURNAL OF NON-CRYSTALLINE SOLIDS</i> vol. 352 pp. 1425-1429 ISSN: 0022-3093
3.	S. LETTIERI; F. MEROLA; P. MADDALENA; C. RICCIARDI; GIORGIS F. (?). Second harmonic generation analysis in hydrogenated amorphous silicon nitride thin films <i>APPLIED PHYSICS LETTERS</i> ISSN: 0003-6951 in press
4.	C. RICCIARDI; V. BALLARINI; M. GALLI; M. LISCIDINI; L. C. ANDREANI; M. LOSURDO; G. BRUNO; S. LETTIERI; F. GESUELE; P. MADDALENA; GIORGIS F. (2006). Amorphous Silicon Nitride: a suitable alloy for optical

3.	Quaglio	Marzia	Dottorando di Ricerca	INGEGNERIA III (Ingegneria dell'Informazione)	Politecnico di Torino- Dipartimento di Fisica	4	4	
4.	Strola	Samy Andrea	Dottorando di Ricerca	INGEGNERIA III (Ingegneria dell'Informazione)	Politecnico di Torino- Dipartimento di Fisica	2	2	
5.	Cocuzza	Matteo	Ricercatore INFM-CNR		Politecnico di Torino- Dipartimento di Fisica	3	3	
6.	Di Fabrizio	Enzo	Dirigente di Ricerca		INFM-CNR--TASC di Trieste	1		
7.	Businaro	Luca	Ricercatore INFM-CNR		INFM-CNR--TASC di Trieste	1	1	
8.	Cabrini	Stefano	Primo Ricercatore INFM-CNR		INFM-CNR--TASC di Trieste	1		
9.	Santamaria Razo	Diego	Dottorando di Ricerca	INGEGNERIA	Politecnico di Torino- Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica	4	4	
10.	Mina	Giuseppe	Tecnico		Politecnico di Torino- Dipartimento di Fisica	4	4	

Personale a contratto a carico del PRIN 2004 (escluse le borse di dottorato)

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Tipologia di contratto	Inizio del contratto	Durata del contratto in mesi	Costo totale in Euro	mesi uomo		Nota
								I anno	II anno	
1.	Descrovi	Emiliano	Post-Doc	Assegno di Ricerca	01/09/2005	12	18.200	4	8	
TOTALE							18.200			

Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2004

n°	Cognome	Nome	Inizio del contratto (*)	Costo totale in Euro	3° anno a carico del Prin 2004 (**)	Nota
TOTALE				0	0	

Si ribadisce quanto precisato con circolare Prot. n. 35 del 2.3.2005 in merito alla borsa di dottorato da attivarsi in concomitanza con l'avvio del progetto di ricerca (30/11/2004)

(*) la data di inizio deve essere compresa tra il 30/11/2004 e il 28/02/2005

(**) da rendicontare successivamente

12. Note relative ai componenti (punto 11)

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate

	(mesi uomo)		
	I anno	II anno	TOTALE
personale universitario	8	8	16
altro personale	30	28	58
Personale a contratto a carico del PRIN 2004 (escluse le borse di dottorato)	4	8	12
Borse di dottorato	0	0	0

14. Dati complessivi relativi al programma

(numero)

partecipazioni a convegni pertinenti: in Italia	
all'estero	3
articoli pertinenti pubblicati: su riviste italiane con referee	
su riviste straniere con referee	10
su altre riviste italiane	
su altre riviste straniere	
comunicazioni a convegni/congressi internazionali pertinenti	7
comunicazioni a convegni/congressi nazionali pertinenti	
rapporti interni	
brevetti depositati	

15. Tabella delle spese sostenute

Voce di spesa	Spese rimodulate	Pagato		Residuo da saldare (già fatturato)	Cifra impegnata	Totale spese sostenute	Descrizione (elementi contabili a giustificazione) (max 3000 Car. per ogni voce)
		I anno	II anno				
Materiale inventariabile	23.024	8.944	14.072			23.016	LASER OPTRONIC S.P.A. Laser € 8944,80 fatt. 344 del 24/03/05 IPG Sorgente laser a fibra ottica ad Itterbio € 9840 Ft. 79 del 16.5.2006 Laser Optronik Source laser beam expander € 1320 fatt. 429 del 10/07/06 Copisistem - N. 4 Personal Computer - € 2912,60 Fattura n. 1027 del 20.03.06
Grandi Attrezzature	0	0				0	
Materiale di consumo	36.055	1.546	34.522			36.068	Le spese di consumo hanno principalmente riguardato: materiali per il processo, deposizione e caratterizzazione, resist per ebeam, reagenti per la pulizia dei substrati e lo sviluppo litografico, manutenzione camere pulite classe 100 e 1000 (contributo parziale), manutenzione sistemi di litografia elettronica, LPCVD e plasma-etching (RIE). N.B. Il dettaglio dei costi è elencato in una legenda a parte in coda alla relazione scientifica (punto 8) per mancanza di spazio tipografico
Spese per calcolo ed elaborazione dati	0	0				0	
Personale a contratto a carico del PRIN 2004	18.200	6.138	12.062			18.200	Assegno di Ricerca post-Doc dott. E. Descrovi periodo 1-9-2005 --> 31-8-2006

Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2004	0	0				0	
Servizi esterni	0	0				0	
Missioni	4.276	2.926	1.350			4.276	<p>Quaglio M.- Imperial Trento 27/2/04 - treno €180,48 mand. 2005/220 del 09/05/2005</p> <p>Quaglio M.- Trento 27/2/04€ 26,5 mand. 2005/184 del 27/04/2005</p> <p>Celasco E.- Trento 27/2/04 € 10,2 mand. 2005/280 del 24/05/2005</p> <p>Giorgis F.- Creta dal 19 al 25/06/05 € 1399,14 mand. 2005/878 del 21/09/2005</p> <p>Giorgis F. Creta dal 19 al 25/06/05 Imperial € 25,1 mand. 2005/878 del 28/09/2005</p> <p>Giorgis Creta dal 19 al 25/06/05 mand. € 60 2005/197 del 28/04/2005</p> <p>Giorgis F.- Pavia dal 19/05 al 20/05/05 € 196,61 mand. 2005/696 del 25/07/2005</p> <p>Quaglio M.- Pavia dal 19/05 al 20/05/05 € 64,45 mand. 2005/698 del 25/07/2005</p> <p>Strola S. - Trieste dal 26/4 al 29/4/05 €225 mand. 2005/1225 del 05/12/2005</p> <p>Ricciardi C. - Congr. ICANS - Lisbona aereo e Strola S. treno Trieste dal 25/07 al 28/07/05 € 362,68 mand. 2005/905 del 03/10/2005</p> <p>Ricciardi C. - Congr. ICANS - Lisbona €180,95 mand. 2005/1231 del 05/12/2005</p> <p>Ricciardi Congr. ICANS - Lisbona € 223,75 mand2005/1089 del 03/11/2005</p> <p>Celasco E. - Trieste dal 25 l 28/07/05 € 150 mand 2005/1126 del 05/12/2005</p> <p>Ricciardi F. - Milano Femlab Meeting11/10/05 €46,34 mand 2005/1058 del 27/10/2005</p> <p>Celasco E. - Firenze dal 09/03 al 10/03 Istituto LENS € 193,81 mand. 2006/366 del 26/04/2006</p> <p>Santamaria Razo D. A. - Firenze dal 09/03 al 10/03 Istituto LENS € 158,49 mand. 2006/423 del 12/05/2006</p> <p>Giorgis F. - Firenze dal 09/03 al 10/03 Istituto LENS €272,14 mand 2006/428 del</p>

							18/05/2006 Quaglio M. - Firenze dal 09/03 al 10/03 Istituto LENS € 227 mand. 2006/248 del 28/03/2006 Celasco E. - Sesto Fiorentino 09/05/06 presso istituto LENS €90,80 mand. 2006/473 del 30/05/2006 Giorgis F. - Sesto Fiorentino 09/05/06 presso istituto LENS €90,90 mand. 2006/539 del 13/06/2006 Descrovi E. - Sesto Fiorentino 09/05/06 presso istituto LENS €91,4 mand.2006/518 del 09/06/2006
Pubblicazioni	0	0				0	
Partecipazione / Organizzazione convegni	1.845	1.620	225			1.845	Celasco E. , Quaglio M., Scuola Fotonica Trento 4/3/2005 € 1200 mand 2005/269 del 23/05/2005 F. Giorgis Congresso PECS VI - Creta dal 19 al 25/06/05 € 420 mand.2005/196 del 28/04/2005 C. Ricciardi congresso ICANS - Lisbona €225 mand 2005/1222 del 05/12/2005
Altro	1.700	1.700	0			1.700	Overheads Dipartimento di Fisica, impegnati su servizi comuni dipartimentali (OCE'-ITALIA S.P.A. Noleggio fotocopiatrice€ 388,8 ft. Del 5002135 del 31/05/05, € 390,65 ft 5009221 del 30/04/05, € 220,58 FATT. N° 6002096 del 31/01/05 ALLORA GIUSEPPE MATER. VARIO DI FERRAMENTA FEBBRAIO 2005 € 237,97 ft 51 del 15/02/05 LINEA 99 MATERIALE INFORMATICO € 42 ft 272 del 19/05/05, € 420 ft 309 del 13/06/05)
Cifra impegnata						0	
TOTALE	85.100	22.874	62.231	0	0	85.105	

Tabella delle cifre impegnate

Voce di spesa	Cifra impegnata	Estremi dell'impegno		Descrizione dettagliata della cifra impegnata
		Data	Protocollo	
Pubblicazioni (esclusivamente dei risultati finali della ricerca)				
Convegni e congressi (presentazione esclusivamente dei risultati finali della ricerca)				
Borse di dottorato				

TOTALE		0			
---------------	--	----------	--	--	--

Per ogni cifra impegnata ci deve essere una descrizione di almeno 100 caratteri.
Si ricorda che le cifre impegnate dovranno essere spese e rendicontate entro SETTEMBRE 2007 ad esclusione del Dottorato.
Per tutte le voci verrà richiesta apposita rendicontazione.

Totale spese sostenute

	(in Euro)
Totale finanziamento assegnato	85.100
Pagato	85.105
Residuo da saldare	0
Cifra impegnata	0
Totale spese sostenute	85.105
Residuo	-5

(Per la copia da depositare presso l'Ateneo e per l'assenso alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati; D.lgs. 196/2003 del 30/06/2003 sulla "Tutela dei dati personali")

Data 22/12/2006 19:08

Firma



Programmi di ricerca cofinanziati - Modello C
Rendiconto di unità di ricerca - ANNO 2004
prot. 2004023725_003

1. Area Scientifico Disciplinare principale	02: Scienze fisiche
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	ANDREANI Lucio
- Università	Università degli Studi di PAVIA
- Facoltà	Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI
- Dipartimento/Istituto	Dip. FISICA
3. Titolo del programma di ricerca	Cristalli fotonici a base di Silicio per il controllo della propagazione e dell'emissione di luce
<hr/>	
4. Responsabile Scientifico dell'Unità di Ricerca	PAVESI Lorenzo
- Università	Università degli Studi di TRENTO
- Facoltà	Facoltà di SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI
- Dipartimento/Istituto	Dip. FISICA
5. TITOLO del programma dell'unità di ricerca	silicio nanoporoso e macroporoso come sistema per il controllo della propagazione della luce e dell'emissione
6. SETTORE principale dell'unità di ricerca:	FIS/01
7. Finanziamenti assegnati all'unità di ricerca:	
- Quota Ateneo	20.700 €
- Quota MIUR	48.300 €
- Finanziamento totale	69.000 €

8. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Di seguito vengono elencati gli obiettivi che l'Unità di Trento si era posta di raggiungere all'interno del progetto COFIN2004:

1. fabbricazione di cristalli fotonici (PC) unidimensionali a base di silicio nanoporoso,
2. fabbricazione di PC bidimensionali a base di silicio macroporoso,
3. fabbricazione di PC quasi-tridimensionali ottenuti realizzando reticoli bidimensionali su guide d'onda,
4. fabbricazione di PC tridimensionali in silicio macroporoso, modulando il diametro dei pori in profondità.

In seguito ci si era proposti l'obiettivo di infiltrare le strutture fotoniche realizzate con sostanze otticamente attive, in particolare con ioni erbio.

1. Sono state realizzate le strutture 1D, composte da multistrati di silicio poroso, in cui il reticolo dielettrico è ottenuto variando la porosità dei singoli strati e, di conseguenza, il loro indice di rifrazione. Le strutture fabbricate hanno una struttura estremamente complessa e si pongono come stato dell'arte per quanto riguarda la realizzazione di multistrati silicio poroso. Grazie all'accurata modellizzazione teorica delle stesse ed all'ottima qualità dei campioni prodotti, è stato possibile misurare molti effetti legati alla presenza del reticolo fotonico. In particolare:

- Cavità ottiche accoppiate per lo studio del rallentamento della luce in mezzi dielettrici (Slow wave): la presenza di un superreticolo fotonico permette di rallentare notevolmente la velocità con cui si propaga la luce all'interno del cristallo fotonico. Nei campioni realizzati sono state ottimizzate strutture con 5 cavità ottiche accoppiate, in cui è stata massimizzata la larghezza del gap e minimizzata la velocità di gruppo dell'impulso che attraversa il campione. I campioni sono stati caratterizzati dal punto di vista della trasmissione a Trento, in seguito sono stati inviati alle UdR di Pavia e di Firenze che si sono occupate, della caratterizzazione ottica fine, includendo misure di fase (a Pavia) e della misura risolta in tempo (a Firenze). In particolare è da notare come, le strutture realizzate, permettano di rallentare gli impulsi senza che questi vengano distorti durante la trasmissione.

- Zener tunneling: in campioni multistrato, formati da 12 cavità accoppiate, è stato caratterizzato il tunneling Zener fotonico, tramite misure di trasmissione effettuate a Trento e risolte in tempo, svolte dall'UdR di Firenze.

- Zener dinamico: Le ultime misure su questo effetto sono state eseguite facendo fluire del gas all'interno dei PC, in questo modo la variazione di indice di rifrazione data dalla condensazione del gas nei nanopori, produce uno spostamento della posizione dei picchi di trasmissione. Queste strutture possono essere utilizzate come sensori.

- Necklace states: in sistemi completamente disordinati, sono state eseguite delle analisi spettroscopiche intese a studiare i cosiddetti "necklace states". In questo caso i campioni sono stati prodotti a Trento, mentre le misure di fase e trasmissione sono state eseguite presso l'UdR di Pavia.

- Optical lifter: è stato svolto un lavoro teorico teso a dimostrare la possibilità di utilizzare effetti dinamici delle strutture fotoniche per variare in maniera controllata l'energia di un impulso che si propaga all'interno del PC.

- Bistabilità ottica: è stata dimostrata la possibilità di ottenere strutture fotoniche dal comportamento otticamente bistabile in reticoli fotonici monodimensionali. L'idea di base dell'esperimento prevedeva il flusso di vapore di etanolo su di un cristallo fotonico opportunamente strutturato. Poiché la dimensione dei pori era inferiore al raggio critico, il vapore poteva condensare portando una sensibile modifica all'indice di rifrazione degli strati in cui la condensazione avveniva, con un conseguente shift in energia delle risonanze. Il fenomeno della bistabilità ottica è stato evidenziato riscaldando il campione con un laser che fosse almeno parzialmente assorbito dal silicio, in modo da realizzare l'evaporazione del liquido ed il ripristino della modulazione di indice di rifrazione iniziale. I campioni studiati erano formati da più cavità tra loro accoppiate in maniera tale da realizzare un effetto di tunneling zener fotonico quando il vapore fosse condensato, riempiendo la parte porosa del campione in maniera graduale e realizzando un gradiente di porosità con l'effetto di inclinare le bande fotoniche in modo da permettere il tunneling.

2. La fabbricazione dei cristalli fotonici bidimensionali in silicio macroporoso è stata fortemente ostacolata da diversi problemi di tipo tecnologico legati all'ottimizzazione dell'intero processo di fabbricazione. A partire dalla realizzazione delle litografie che hanno richiesto l'acquisto di un setup e-beam dedicato, installato a Trento. La macchina ha richiesto un certo periodo di tempo di training per poter cominciare a lavorare a regime, realizzando litografie di buona qualità che potessero essere utilizzate come maschera per i successivi attacchi in plasma (RIE) necessari per l'apertura dei pori nella sottostante maschera dielettrica. I primi campioni realizzati hanno subito evidenziato un altro problema che andava risolto: la maschera di nitruro di silicio che ricopriva il wafer di silicio e che era stata realizzata per LPCVD convenzionale, non aveva un'adesione sufficiente a resistere all'attacco elettrochimico in acido fluoridrico (problema, questo, che non era stato evidenziato nella realizzazione di campioni simili ma con passi reticolari maggiori e realizzati all'interno di un precedente progetto di ricerca). Grazie alla collaborazione con il TASC di Trieste, che ha fornito preziose informazioni su una possibile soluzione del problema, si è ricorsi alla deposizione di uno strato di nitruro di silicio a bassissimo stress, realizzato come service esterno da una università americana. Nel frattempo, sempre grazie alla collaborazione con il TASC sono stati realizzati alcuni campioni di prova, su wafer senza maschera dielettrica e in cui la definizione spaziale dei siti di nucleazione dei pori è stata realizzata attraverso l'uso di un fascio ionico collimato (FIB). Tali campioni, pur non risultando in strutture fotoniche bidimensionali di buona qualità che potessero essere caratterizzate anche da un punto di vista ottico, hanno permesso di ottenere importanti informazioni sulla fattibilità del processo di attacco elettrochimico anche in reticoli con passi dell'ordine del micron. Al momento si sta portando avanti l'ottimizzazione del processo di attacco in RIE di questa maschera di nitruro ad elevata resistenza e che ha dimostrato una notevole resistenza anche all'etching in plasma, necessitando di un trattamento ad hoc diverso da quello solitamente utilizzato per rimuovere il nitruro prodotto per LPCVD.

3. Per quanto riguarda la realizzazione di cristalli fotonici quasi tridimensionali sono state progettate diverse strutture da realizzarsi su substrati SOI, sempre grazie alla collaborazione con il TASC che si occuperà della realizzazione pratica dei campioni, mentre Trento si è occupata della parte di progettazione e simulazione delle strutture. In particolare sono state progettate delle guide multimodali in ingresso e uscita ma provviste di una zona centrale monomodale in cui possono essere realizzate strutture fotoniche monodimensionali in grado di rallentare la luce che si propaga attraverso le stesse. Contemporaneamente sono state progettate altre guide che si accoppiano a dei pad bidimensionali, di dimensioni variabili (max 40 nm), adatti alla realizzazione di reticoli fotonici bidimensionali. Al momento si stanno progettando e simulando con codici Plane Wave Expansion method (PWE) e Finite Difference Time Domain (FDTD) i reticoli da realizzarsi.

4. A causa dei grossi ritardi nella fabbricazione dei campioni di silicio macroporoso, questa parte di progetto non è sviluppata, poiché dipende direttamente dalla capacità di realizzare strutture ordinate di silicio macroporoso.

In una seconda fase del progetto si volevano infiltrare i reticoli fotonici bi e tridimensionali realizzati con sostanze otticamente attive. Purtroppo a causa dei forti ritardi nella realizzazione degli stessi, non si è riusciti nell'intento di realizzare dispositivi drogati con ioni Erbium e ci si è concentrati sullo studio del comportamento ottico di emettitori organici in sistemi a guida d'onda che potessero essere compatibili con la realizzazione di cristalli fotonici otticamente attivi. In particolare sono state fabbricate delle guide d'onda in polimetilmetacrilato (PMMA), ottenute per spin-coating su di un campione di silicio poroso ossidato. In questo modo l'indice di rifrazione dello strato di PMMA (1.5) è maggiore di quello del cladding sottostante in silicio poroso ossidato (1.1), in questo modo è possibile usare il silicio come substrato anche in sistemi guidanti a basso indice. Il PMMA è un polimero normalmente utilizzato come resist nei processi di litografia a fascio elettronico, in questo modo, e impiegando il setup di e-beam presente a Trento si pensa di riuscire a realizzare reticoli fotonici mono e bi-dimensionali anche in sistemi polimerici. Le guide di PMMA sono state drogate con Nile Blue.

Prima di studiare le guide in PMMA abbiamo studiato guide in silice porosa a diversa porosità ed impregnate con coloranti organici. In queste strutture abbiamo trovato guadagni ottici importanti. (Ref. C.J. Oton, D. Navarro-Urrios, M. Ghulinyan, N. E. Capuj, S. Gonzales-Peres, F. Lahoz, I. R. Martin, L. Pavesi "Optical gain in dye impregnated oxidized porous silicon waveguides" Applied Physics Letters 89, 011107 (July 2006)). Quindi abbiamo studiato guide di PMMA drogate con Nile Blue.

La caratterizzazione ottica è avvenuta eseguendo tre diversi tipi di misure:

- fotoluminescenza (PL) a potenza variabile. Durante queste misure si è notata una soglia di intensità oltre la quale la luminescenza del dye mostra un evidente restringimento della larghezza di riga, elemento questo che indica la presenza di emissione spontanea amplificata (ASE) nel materiale indagato.

- Misura di amplificazione ottica con il metodo VSL (Variable Stripe Length). In questo caso il fascio laser è focalizzato con una lente cilindrica in modo da ottenere un profilo il più possibile rettangolare. La fotoluminescenza è raccolta da un bordo del campione e, ad ogni misura, si aumenta la lunghezza di eccitazione. Nel caso il materiale indagato mostrasse guadagno ottico (ed è il nostro caso), l'andamento dell'intensità della fotoluminescenza è più che lineare rispetto alla lunghezza della zona eccitata. Il coefficiente dell'esponenziale dà il valore di guadagno netto, ovvero che tiene già conto delle perdite della guida (tiene conto di tutti i contributi, sia di scattering che di assorbimento).

- Per ricavare il coefficiente di guadagno del materiale, senza contare quindi le perdite legate alla guida d'onda, si è ricorsi al SES (Shifting Excitation Spot). La misura è simile alla VSL appena descritta, la differenza sta nel fatto che un piccolo diaframma circolare è posto tra la cilindrica ed il campione. In questo modo è possibile eccitare una piccola zona del campione a distanze via via crescenti dal bordo dello stesso. Il decadimento nell'intensità della luminescenza misurata, all'allontanarsi dal bordo del campione può, sotto opportune ipotesi, indicare le perdite della guida. In questo modo, sommando tale valore al valore di guadagno ricavato dalla VSL si può stimare il coefficiente di guadagno ottico del materiale.

A causa del degrado della fotoluminescenza in questo tipo di emettitori, tutte le misure sono state effettuate seguendo una metodica di lavoro che permettesse di trascurare il decadimento dell'intensità del segnale nel tempo.

Contemporaneamente presso l'UdR di Firenze sono stati impregnati localmente dei reticoli bidimensionali su membrana freestanding di silicio macroporoso fabbricati a Trento. Le maschere per questi reticoli sono stati realizzate con litografia ottica e le strutture prodotte hanno band gap nel lontano IR per cui non possono essere impregnate con ioni Erblio od altri emettitori che dimostrino interessanti proprietà nel campo delle telecomunicazioni. Grazie all'elevato aspect ratio ottenibile attraverso l'attacco elettrochimico, i campioni sono stati resi freestanding con un processo di lappatura meccanica. Nonostante il limite imposto dalla costante reticolare molto grande, è stata dimostrata la fattibilità di un setup di impregnazione localizzata con cui andare a scrivere strutture complesse su reticoli fabbricati senza difetti. Questo fatto introduce una gran flessibilità per quanto riguarda le strutture realizzabili, poiché diventano meno stringenti i requisiti di litografia necessari, in quanto è sufficiente definire un reticolo perfettamente periodico (ottenibile, per esempio anche con setup interferenziali od olografici) mentre i difetti vengono realizzati ad hoc tramite il processo di infiltrazione.

NOTA SULLE SPESE SOSTENUTE

Nelle seguenti voci sono state apportate delle modifiche rispetto alla relazione annuale per i motivi riportati nel seguito:

- Materiale inventariabile, sono variazioni minime dovuti agli aggiustamenti contabili tra le cifre impegnate e quelle effettivamente pagate
- Materiale di consumo, sono variazioni dovute al fatto che spese impegnate sul primo anno sono state poi effettivamente pagate nel secondo anno
- Personale a contratto, sono variazioni imputate alla differenza tra le cifre impegnate e quelle poi pagate al post-doc che riflettono anche gli oneri fiscali aggiuntivi. Si noti che la cifra indicata al primo anno era a copertura dell'intero contratto e non solo dell'impegno per il primo anno
- Missioni, sono variazioni minime dovute agli aggiustamenti contabili tra le cifre impegnate e quelle effettivamente pagate

9. Pubblicazioni del responsabile

n°	Pubblicazione
1.	Z. GABURRO; P. BETTOTTI; N. DALDOSSO; M. GHULINYAN; D. NAVARRO-URRIOS; M. MELCHIORRI; F. RIBOLI; M. SAIANI; F. SBRANA; PAVESI L. (2006). Nanostructured Silicon for Photonics - from materials to devices pp. 1-238 ISBN: 13: 978-0-87849-488-0 Volumes 27-28 of Materials Science Foundations
2.	PAVESI L.; G. GUILLOT (2006). Optical interconnects: the silicon approach pp. 265 ISBN: 3-540-28910-0 Springer Series in Optical Science vol 119 [edited book]
3.	D. GERACE; M. GALLI; D. BAJONI; G. GUIZZETTI; L. C. ANDREANI; F. RIBOLI; M. MELCHIORRI; PAVESI L.; G. PUCKER; S. CABRINI; L. BUSINARO; E. DI FABRIZIO (2005). Wide-band transmission of one-dimensional photonic crystals carved in Si₃N₄/SiO₂ channel waveguides <i>APPLIED PHYSICS LETTERS</i> vol. 87 pp. 211116 ISSN: 0003-6951
4.	M. GHULINYAN; C. J. OTON; Z. GABURRO; PAVESI L.; C. TONINNELLI AND DIEDERIK WIERSMA (2005). Zener tunneling of light waves <i>PHYSICAL REVIEW LETTERS</i> vol. 94 pp. 127401 ISSN: 0031-9007
5.	J. BERLOTTI; S. GOTTARDO; DIEDERIK S. WIERSMA; M. GHULINYAN; PAVESI L. (2005). Optical necklace states in Anderson localized 1D systems <i>PHYSICAL REVIEW LETTERS</i> vol. 94 pp. 113903 ISSN: 0031-9007

dei partecipanti

1. F. Intonti, S. Vignolini, V. Turck, P. Bettotti, S. L. Schweizer, R. Wehrspohn, L. Pavesi, M. Colocci, D. Wiersma; 2006; Rewritable photonic circuits; Rivista: Applied Physics Letters; Volume: 89; pp.: 211117
2. J. Bertolotti, M. Galli, R. Sapienza, M. Ghulinyan, S. Gottardo, L. C. Andreani, L. Pavesi, and D. S. Wiersma; 2006; Wave transport in random systems: multiple resonance character of necklace modes and their statistical behaviour; Rivista: Physical Review E rapid communications; Volume: 74; pp.: 035602
3. M. Ghulinyan, M. Galli, C. Toninelli, J. Bertolotti, S. Gottardo, F. Marabelli, D. S. Wiersma, L. Pavesi and L. C. Andreani; 2006; Wide-band transmission of non-distorted slow waves in 1D optical superlattices; Rivista: Applied Physics Letters; Volume: 88; pp.: 241103

4. Mher Ghulinyan, Zeno Gaburro, Diederik S. Wiersma and Lorenzo Pavesi; 2006; Vapor diffusion and condensation in porous optical superlattices: vapor-controlled photonic band tilting and tunable light transmission; Rivista: Physical Review B; Volume: 74; pp.: 045118
5. Zeno Gaburro, Mher Ghulinyan, Francesco Riboli, Lorenzo Pavesi, Alessio Recati e Iacopo Caru-sotto; 2006; Photon Energy Lifter; Rivista: Optics Express; Volume: 14; pp.: 7270

10. Prodotti della Ricerca eseguita

La ricerca ha condotto ai seguenti prodotti:

A) lavori pubblicati oltre a quelli citati precedentemente:

- D. S. Wiersma, R. Sapienza, S. Mujumdar, M. Ghulinyan, L. Pavesi "Optics of nanostructured dielectrics: from random lasers to quasi-crystals", Journal of Optics A: Pure and Applied Optics special issue on Nanostructured Optical Meta-materials 7, S190-S197 (February 2005).
- Mher Ghulinyan, Claudio J. Oton, Luca Dal Negro, Lorenzo Pavesi, Riccardo Sapienza, Marcello Colocci, and Diederik Wiersma "Light pulse propagation in Fibonacci quasicrystals", Physical Review B 71, 094204-1,8 (15 March 2005).
- M. Ghulinyan, Z. Gaburro, L. Pavesi, C. J. Oton, C. Toninelli and D. Wiersma, "Zener Tunneling of light in an optical superlattice", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 829 B5.8.1-B5.8.6 (2005)
- M. Ghulinyan, C.J. Oton, Z. Gaburro, L. Pavesi, R. Sapienza, P. Costantino, and D. Wiersma, "Time resolved photonic Bloch oscillations in porous silicon superlattice structures", Physica Status Solidi (c) 2, 3283-3287 (2005).
- M. Ghulinyan, R. Sapienza, C. Toninelli, C.J. Oton, P. Costantino, Z. Gaburro, L. Pavesi, and D.S. Wiersma, "Bloch oscillations and resonant Zener tunneling of light in optical superlattices" Proc. of SPIE 5840, 421 (2005)
- S. Cabrini, L. Businaro, M. Prasciolu, A. Carpentiro, D. Gerace, M. Galli, L. C. Andreani, F. Riboli, L. Pavesi and E. Di Fabrizio "Focused ion beam fabrication of one-dimensional photonic crystals on Si₃N₄/SiO₂ channel waveguides" J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 8, S550-S553
- D. Navarro-Urrios, M. Ghulinyan, P. Bettotti C. J. Oton, N. E. Capuj F. Lahoz, I. R. Martín and L. Pavesi "Optical gain in dye-doped polymeric slab waveguides on silicon", submitted to Applied Physics Letters (20 novembre 2006)
- Lorenzo Pavesi, Zeno Gaburro, Nicola Daldosso, Francesca Sbrana, Massimo Cazzanelli, Mher Ghulinyan, Paolo Bettotti, Daniel Navarro, Mirko Melchiorri, Francesco Riboli, Massimo Saiani, "Silicon Photonics Research in Trento: an Integrated Approach" Proceedings of SCI2004 The 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics July 18-21, 2004 - Orlando, Florida, USA
- Z. Gaburro, N. Daldosso, L. Pavesi, article "Porous Silicon" in Encyclopedia of Condensed Matter Physics edited by Franco Bassani, Jerry Liedl and Peter Wyder (Elsevier Ltd) pag. .
- M. Ghulinyan, Z., Gaburro, L. Pavesi, C. J. Oton, N. E. Capuj, R. Sapienza, C. Toninelli, P. Costantino, and D. S. Wiersma "Optical superlattices: where photons behave like electrons" in New Topics in Lasers and Electro-Optics, Ed. William T. Arkin (2006) Research Nova Science Publishers (sottomesso luglio 2005)

B) Campioni di cristalli fotonici uni e bidimensionali in silicio

C) Amplificatori in guida d'onda in silicio a base di composti organici

D) Training di giovani ricercatori

E) Messa a punto di un set-up di litografia a fascio elettronico

11. Componenti dell'Unità di ricerca che hanno effettivamente partecipato alla ricerca

Personale docente

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Facoltà	Dipartimento/Istituto Università	I anno	II anno
1.	PAVESI	Lorenzo	PO	SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI	Dip. FISICA Univ. TRENTO	6	6

altro personale

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Facoltà	Dipartimento/Istituto Università/Ente	mesi uomo effettiv. impegnati		Nota
						I anno	II anno	
1.	Gaburro	Zeno	ricercatore	ALTRE STRUTTURE	INFM	2	2	
2.	Cazzanelli	Massimo	Tecnico laureato	SCIENZE MATEMATICHE	Dipartimento di Fisica-Trento	2	2	

				FISICHE e NATURALI				
3.	Riboli	Francesco	studente di dottorato	SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI	Dipartimento di Fisica-Trento	4		
4.	Mher	Ghulynian	post-doc	ALTRE STRUTTURE	INFM	2	2	
5.	Nicola	Daldosso	co.co.co.	SCIENZE MATEMATICHE FISICHE e NATURALI	Dipartimento di Fisica-Trento	1	1	

Personale a contratto a carico del PRIN 2004 (escluse le borse di dottorato)

n°	Cognome	Nome	Qualifica	Tipologia di contratto	Inizio del contratto	Durata del contratto in mesi	Costo totale in Euro	mesi uomo		Nota
								I anno	II anno	
1.	Bettoti	Paolo	post-doc	post-doc	01/03/2005	21	32.276	10	11	
TOTALE							32.276			

Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2004

n°	Cognome	Nome	Inizio del contratto (*)	Costo totale in Euro	3° anno a carico del Prin 2004 (**)	Nota
TOTALE				0	0	

Si ribadisce quanto precisato con circolare Prot. n. 35 del 2.3.2005 in merito alla borsa di dottorato da attivarsi in concomitanza con l'avvio del progetto di ricerca (30/11/2004)

(*) la data di inizio deve essere compresa tra il 30/11/2004 e il 28/02/2005

(**) da rendicontare successivamente

12. Note relative ai componenti (punto 11)

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate

	(mesi uomo)		
	I anno	II anno	TOTALE
personale universitario	6	6	12
altro personale	11	7	18
Personale a contratto a carico del PRIN 2004 (escluse le borse di dottorato)	10	11	21
Borse di dottorato	0	0	0

14. Dati complessivi relativi al programma

	(numero)
partecipazioni a convegni pertinenti:	
in Italia	
all'estero	17
articoli pertinenti pubblicati:	
su riviste italiane con referee	
su riviste straniere con referee	15
su altre riviste italiane	
su altre riviste straniere	2
comunicazioni a convegni/congressi internazionali pertinenti	17
comunicazioni a convegni/congressi nazionali pertinenti	
rapporti interni	

brevetti depositati

15. Tabella delle spese sostenute

Voce di spesa	Spese rimodulate	Pagato		Residuo da saldare (già fatturato)	Cifra impegnata	Totale spese sostenute	Descrizione (elementi contabili a giustificazione) (max 3000 Car. per ogni voce)
		I anno	II anno				
Materiale inventariabile	10.240	10.472	0	0		10.472	11012477 Optoprim rollerblock/micrometer €2,239.20 Ft. V00145 dd. 24.02.05 11013626 Products for Research Option 19, Ceramic socket assembly wired €1,109.59 FT.4531 dd. 23.05.2005 11013887 Lot Oriel Srl Calibration lamp ar €903.60 Ft. 373 dd.19/9/05 11013887 Lot Oriel Srl Calibration lamp ar €555.60 ft.n.373 dd.19/9/05 11014178 Ocean Optics S.V. HL 2000 LL with integrated shutter, filt €2,004.00 fatt PF 19354 dd 27.07.05 11012570 I.D.I.L. Fibres Optiquoes FSM 30 S Fujikura fiber splicer €3,660.00 fatt 250046 dd 17/02/05
Grandi Attrezzature	0	0	0	0		0	
Materiale di consumo	14.000	11.435	2.957	0		14.392	11012427 Scala SpA cassettiere Vision €875.16 Ft. 2945 dd 28.02.05 - fatt. 10729 dd.30/7/05 11012479 Pra.Ma Strumenti sonde per microscopio €2,190.00 fatt 12/2005 dd 16.03.05 11013529 Sigma Aldrich etanolo €621.72 FATT 82277859 - 19000690 dd. 27.05.05 190607219 dd 17.06.05 - 190607615 dd 20.06.05 11013586 AlfaPhotonics TPMJ-3A-1550-8/125-0.4-10-2.5-14-1-AR €2,760.00 ft.n.FAL0223 dd.20.07.05 11013587 Carl Zeiss Lampadine ad alogeni 15V 150W €124.80 fatt 5840013813 dd 22.06. 11013867 Microcontrol N.T. 7T67-6, Stainless steel single to multi.. €970.80 Ft. 648 dd. 18.07.05 11014177 Edmund Industrie Optik fibra ottica VIS/NIR lunga Sm €764.89 fatt 4045564 dd 05.08.05 11014179 Laser Optics fliashlamp, xenon, THX wall €653.40 ft.n.298 dd.22/09/05 11014193 BFI Optilas PL65S0102FAA-0-0-01 Diode accoppiato in €820.78 ft.n.3504526 dd.09/09/05

							<p>11014266 Sigma Aldrich silicon €650.28 fatt 190620909 dd 16.08.0</p> <p>11014983 Sigma Aldrich heptene €163.68 ft.n.190640474-dd26.10.05</p> <p>11015684 Hellma Italia 110-QS cella per spettrofotometria in qu €300.89 ft.n.V1 901 dd.15.12.2005</p> <p>11015777 Telefo bretella in fiba ottica SM €240.00 ft.n.637 dd.23.12. 2005</p> <p>11015782 Misco Italy Computer 9597L cordless Siemens Gigaset A120 €41.76 ft.n172979/05 dd.19/12/05</p> <p>11015795 RS Components pinzette mpd. EREM €130.80 ft.n84/111887 dd.16/12/05</p> <p>11014214 Univ.of Minnesota oneri doganali €126.47 8000065041</p> <p>11014214 Univ.of Minnesota single polished silicon wafer €730.80 ft.n.982332 dd.12/12/05</p> <p>11015718 AMS Technologies P/N HPUC-23A-633-P-3.9AS-11 €786.00 ft.ZIA/11030238dd.18/1/06</p> <p>11015792 M.A.D. Telecamera CCD a colori €480.00 ft.n.14 dd.09/01/2006</p> <p>11016087 RS Component batterie ricaricbili €40.42 ft.n.85/011114-03/02/2006</p> <p>8000007392 Foxel srl scheda seriale per pc €29.70 8000007392</p> <p>8000029925 cartucce per stampante €65.00 8000029925</p> <p>800006145 cartucce per stampante €48.00 800006145</p> <p>11018300 Attrezzature medico Pallone fondo sferico €515.50 ft.1/4787 d.d.13.10.2006</p> <p>11017984 Sigma Aldrich Diethyl ether €261.48 ft.8280057391 d.d.09.08.2006</p>
Spese per calcolo ed elaborazione dati	0	0	0	0		0	
Personale a contratto a carico del PRIN 2004	33.260	16.138	16.138	0		32.276	15000619 Bettotti / post doc 15000619 Bettotti / post doc
Dottorati di ricerca a carico del PRIN 2004	0	0	0	0		0	
Servizi esterni	0	0	0	0		0	
Missioni	11.000	6.270	5.041	0		11.311	2005 4300001596 S.Diego - Gaburro Z. 6100001374 Pavia - Melchiorri 6100001375 Hangzhou - Pavesi 6100001377 Basovizza - Riboli 6100002414 Pavia - Bettotti

							6100002415 Pavia - Ghulinyan 6100002612 Pavia - Pavese 6100003612 Pavia - Riboli 6100003623 Padova - Ghulinyan 6100003906 Giappone - Daldosso 6100003907 Bettotti - Padova 6100004761 Pisa - Pavese 6100004762 Riboli - Heraklion 2006 4300000035 Firenze - Ghulinyan 43000000429 Firenze - Gaburro 61000000154 Usa - Pavese 61000000890/61000001386 India - Daldosso 61000000989 Sesto Fiorentino - Bettotti 61000001388 Seoul - Pavese
Pubblicazioni	0	0	0	0		0	
Partecipazione / Organizzazione convegni	500		499	0		499	61000000154 Usa - Pavese €498.63
Altro	0	0	0	0		0	
Cifra impegnata						0	
TOTALE	69.000	44.315	24.635	0	0	68.950	

Attenzione

Nelle seguenti voci sono state apportate delle modifiche rispetto alla relazione annuale:

- Materiale inventariabile
- Materiale di consumo
- Personale a contratto
- Missioni

La modifica rimarrà evidenziata e dovrà essere dettagliatamente motivata nel consuntivo anche ai fini della valutazione ex-post.

Tabella delle cifre impegnate

Voce di spesa	Cifra impegnata	Estremi dell'impegno		Descrizione dettagliata della cifra impegnata
		Data	Protocollo	
Pubblicazioni (esclusivamente dei risultati finali della ricerca)				
Convegni e congressi (presentazione esclusivamente dei risultati finali della ricerca)				
Borse di dottorato				
TOTALE	0			

Per ogni cifra impegnata ci deve essere una descrizione di almeno 100 caratteri.

Si ricorda che le cifre impegnate dovranno essere spese e rendicontate entro SETTEMBRE 2007 ad esclusione del Dottorato.

Per tutte le voci verrà richiesta apposita rendicontazione.

Totale spese sostenute

--	--

	(in Euro)
Totale finanziamento assegnato	69.000
Pagato	68.950
Residuo da saldare	0
Cifra impegnata	0
Totale spese sostenute	68.950
Residuo	50

(Per la copia da depositare presso l'Ateneo e per l'assenso alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati; D.lgs. 196/2003 del 30/06/2003 sulla "Tutela dei dati personali")

Data 28/12/2006 15:46

Firma