


# Spettroscopia ottica e Fotonica

## SPETTROSCOPIA

- lo studio delle interazioni fra materia e radiazione. Storicamente la spettroscopia origina con lo studio della luce visibile e della sua dispersione in frequenza (o lunghezza d'onda).
- Il concetto si è molto esteso per comprendere ogni interazione di radiazione (e.m. di qualsiasi frequenza, particelle cariche,...) in funzione della sua energia o frequenza

# Perché la spettroscopia ottica ?

- Attraverso la misura della funzione dielettrica complessa essa fornisce informazioni sulle **eccitazioni elementari** nei solidi   
*struttura elettronica e vibrazionale, quasi particelle (eccitoni, plasmoni, polaroni,...), effetti di perturbazioni esterne (T, p, E, H,..)*

- Permette una **caratterizzazione non distruttiva e non-invasiva** di:

*Funzioni ottiche  $n(\omega)$ ,  $k(\omega)$ ,  $\alpha(\omega)$*

*Portatori di cariche libere  $N$ ,  $m^*$ ,  $\tau$*

*Ordine/disordine strutturale (mono-cristallo, poli-, amorfo, difetti)*

*Composizione*

*Effetti di dimensionalità ridotta*

*Qualità di superfici e interfacce*

*Spessori di film (fino all'Angstrom) e multistrati*

*Transizioni di fase (strutturali, magnetiche, SC, isolanti-conduttori)*

*...*

# Fotonica

- Scienza che studia la generazione, l'emissione, la trasmissione, la modulazione, l'elaborazione di segnali, la commutazione, l'amplificazione, la rivelazione di onde e.m..
- Il termine fotonica (coniato in analogia con elettronica) riflette l'intersezione tra ottica ed elettronica, legato al crescente ruolo di materiali e dispositivi nei sistemi ottici. L'elettronica riguarda il flusso di cariche elettriche, la fotonica il flusso di fotoni (in vuoto o nella materia).
- Inoltre esso sottolinea l'importanza della natura corpuscolare del fotone nel descrivere il funzionamento di molti dispositivi ottici.
- La fotonica comprende l'elettro-ottica, l'optoelettronica, l'elettronica e l'ottica quantistiche, e le tecnologie correlate.

# Fotonica e spettroscopia ottica si correlano con

## PLASMONICA

- un **plasmone** è un quanto di oscillazione di plasma analogo alla oscillazione collettiva di un gas di elettroni liberi.
- Plasmonica sfrutta l'accoppiamento di onde e.m. con cariche quasi-libere, confinate in superficie o in micro- o nano-strutture.
- Essa consente il superamento del limite di diffrazione grazie alla localizzazione del campo e.m. in dimensioni sub- $\lambda$  accompagnato a un forte aumento dell'intensità.

## INFORMAZIONE QUANTISTICA

- nei casi in cui questa scienza recente utilizzi metodi fotonici

# Electromagnetic theory

*optical storage*

*nonlinear optics*

Imaging science and technology

Laser physics & technology

*adaptive optics*

*ultrafast & high power diode-pumped lasers*

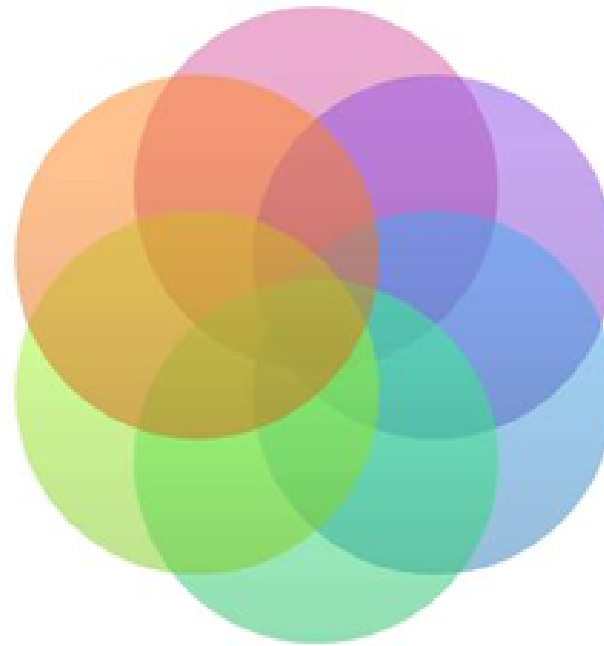
Biophotonics

Nonlinear fibre optics

*multidimensional fluorescence imaging*

*optical fibre technology*

Metrology and remote sensing



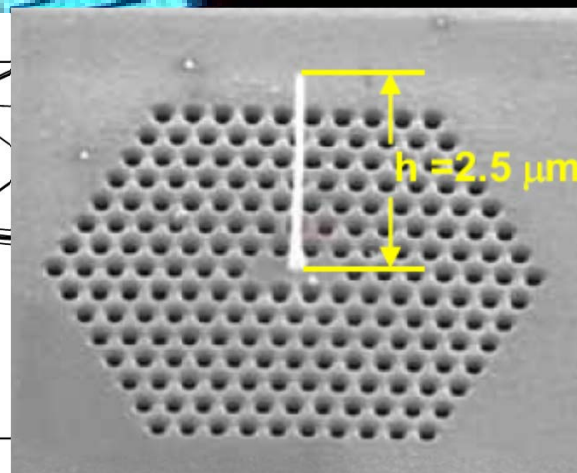
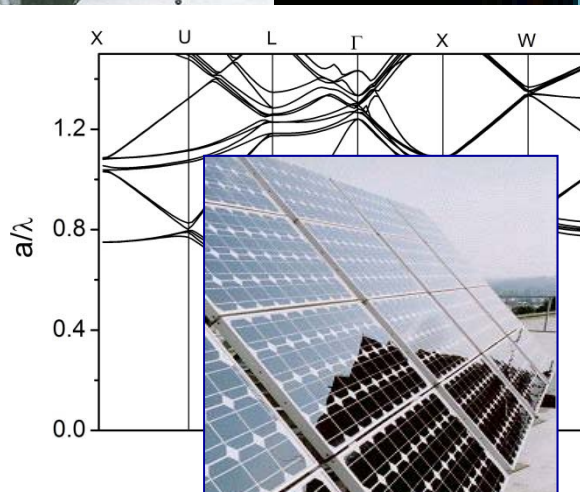
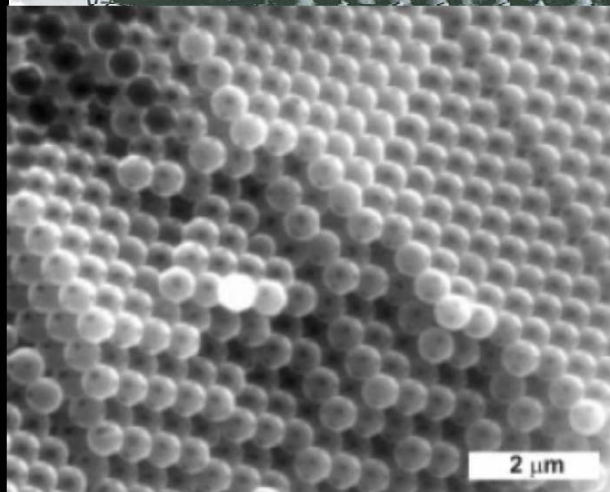
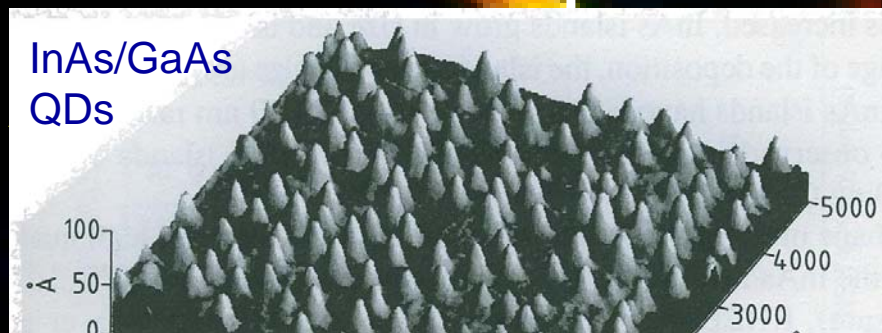
# Attività di ricerca nel Lab. di Spettroscopia Ottica

- Materiali organici
- Nanostrutture (PhC, QD, multistrati,..)
- Semiconduttori per PV

→ FOTONICA



Stretta interazione  
con teorici



# Strumentazione del Laboratorio

- Spettrofotometri FTIR  
(FIR-MIR-Vis :  $\lambda = 1000 - 0.3 \mu\text{m}$ )
  - Transmittanza/ riflettanza (spec. o diffusa)
  - Microriflettometri / ATR
  - Emissione risolta in angolo
  - Interferometro di Mach-Zehnder
- Spettrofotometri a reticoli  
(NIR-Vis-UV :  $\lambda = 3000-100 \text{ nm}$ )
- Ellissometri-polarimetri spettroscopici  
(NIR-Vis-UV :  $\lambda = 1.6 - 0.25 \mu\text{m}$ )
- Apparat per Raman
- Apparat per Spettroscopia modulatoria  
(PR, TR, ER)
- AFM-STM
- Sorgenti laser CW, impulsive e accordabili  
(IR, Vis, UV)
- Apparat per spettroscopia risolta in tempo (ps)
- Criostati ottici ( $T = 4 \div 300 \text{ K}$ )



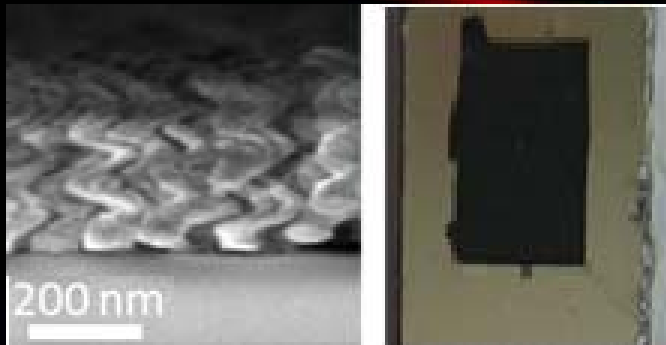
# Progetti recenti

- **ENI S.p.A. research contract 2011-2014** *"Photonics for photovoltaics systems based on fluorescent concentrators"*.
- **Fondazione Cariplo 2012-15** *"Gold nanorods (NR) and asymmetric nanoparticles (ANP): pharmacological and thermal antimicrobial action activated by near-IR irradiation"*
- **Cooperazione Scientifica e Tecnologica Internazionale di Regione Lombardia 2010-2012** *" Nanostructured photonic devices for innovative biosensing applications"*
- **EU FP7 Marie Curie ITN Network 2011-2014** *PROPHET - "Postgraduate Research in Photonics as an Enabling Technology"*
- **Fondazione Cariplo 2010-2013** *"Nanophotonics for thin-film photovoltaics"*
- **MIUR-FIRB Futuro in Ricerca 2010-2013** *"Nonlinear and quantum optics in nanoscale photonic structures"*
- **Fondazione Cariplo 2009-2011** *"PHOtonic ENhancement In Chemical Sensors: nanomaterials for optics"*
- **Fondazione Alma Mater Ticinensis** *"Semiconductor devices for entangled photon pair generation"*

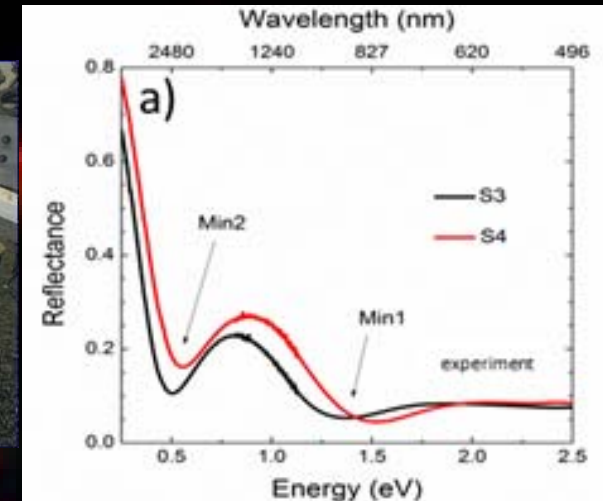


# Spettroscopia ottica di materiali nanostrutturati

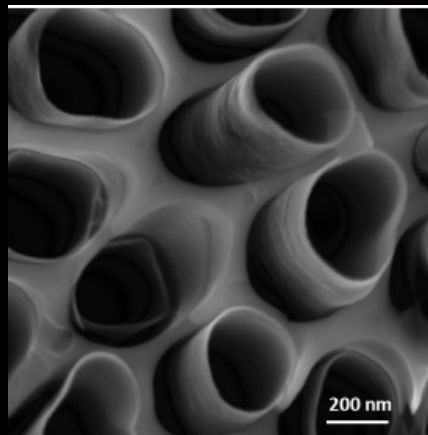
Studio di nano-oggetti metallici  
(Es.: nano-antenne di Ni)



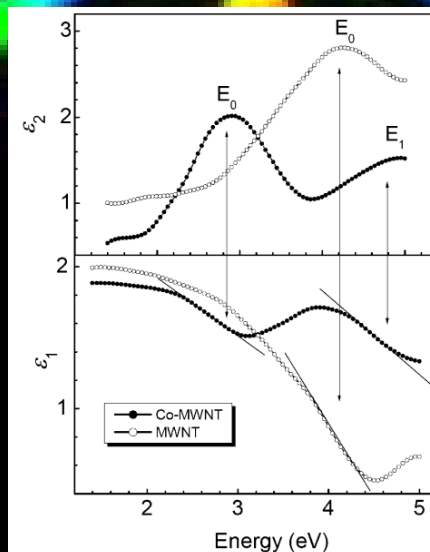
Tecnica sperimentale  
*Riflettività ottica risolta in angolo*



Studio di Nano-tubi  
di carbonio e grafene



Tecnica sperimentale  
*Ellissometria spettroscopica*

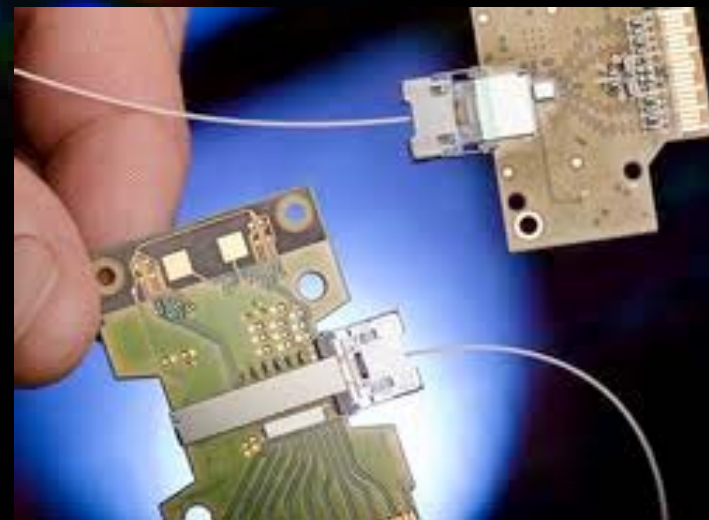
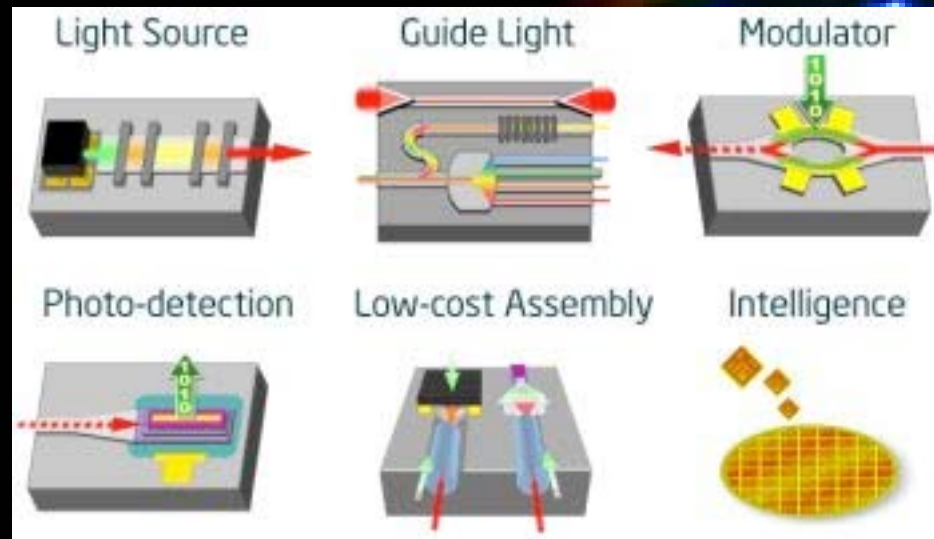


# Fotonica in silicio

**Motivazione:** la Tecnologia di Informazione e Comunicazione (ICT) è ancora basata su circuiti elettronici integrati, ma l'aumento della dissipazione di potenza e della produzione di calore impediscono ulteriori incrementi nella velocità e nella capacità di ICT e anche la realizzazione di 'Green Internet' .

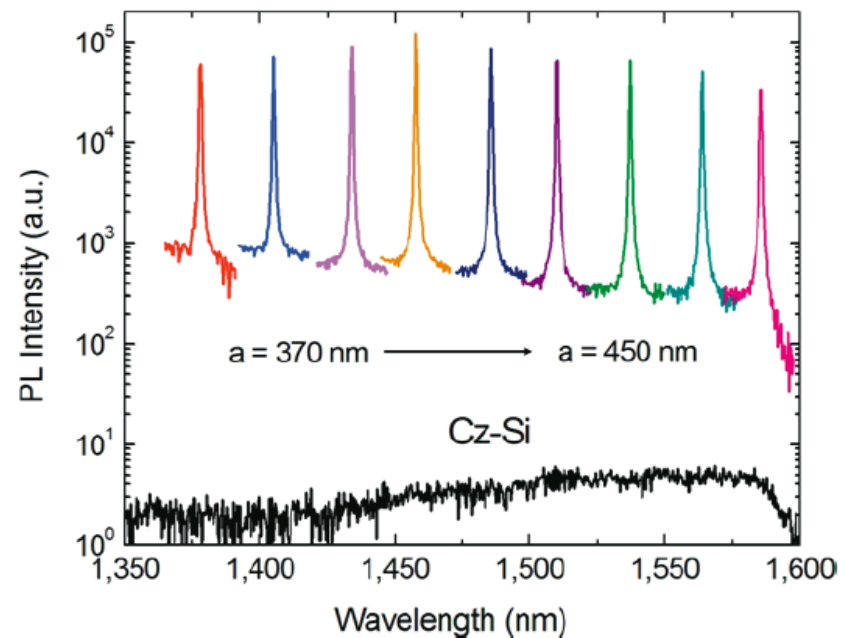
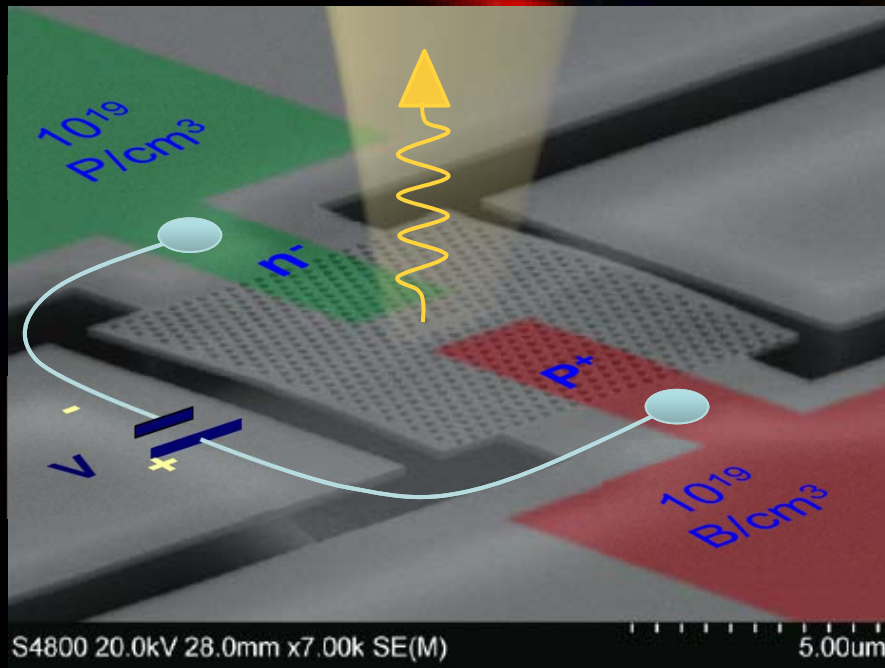
**Nuovo approccio:** usare la luce (fotoni) per muovere un'enorme quantità di dati ad alte velocità, con una estremamente bassa dissipazione di potenza, lungo sottili fibre ottiche invece di utilizzare segnali elettrici lungo cavetti di rame.

## *Moving data with silicon and light*



# Emissione di luce in silicio

Si usa una cavità in PhC per realizzare una sorgente di luce efficiente e integrata in Si

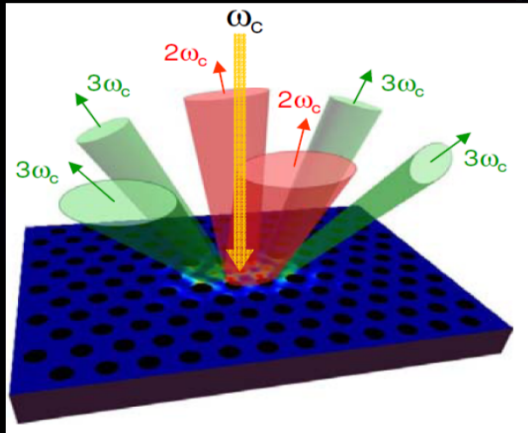


- Pilotato elettricamente
- Opera in CW a RT
- Esibisce linee spettrali strette

- Emette nella finestra telecom
- E' piccolo (dimensioni  $\mu\text{m}$ )
- Opera a bassa potenza

# Ottica non-lineare in cavità di Si- PhC

Si usa una cavità in PhC per aumentare fortemente le proprietà ottiche nonlineari in Si



THG ,  $\lambda = 525$  nm

1  $\mu$ m

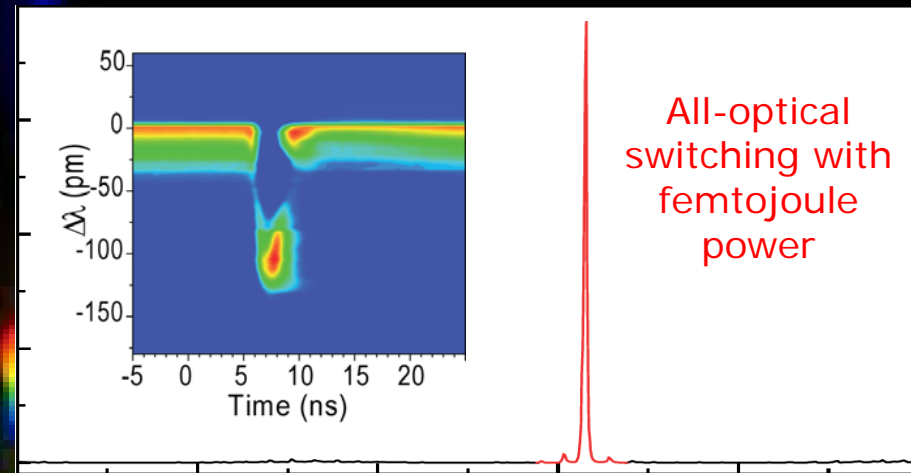
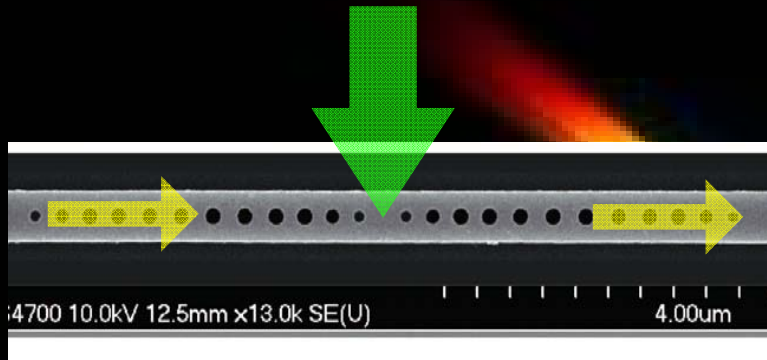
THG ,  $\lambda = 451$  nm

1  $\mu$ m

- Generazione molto efficiente di 2a e 3a armonica con potenza di pompa ultra-bassa (mW), in regime di onda continua (CW)
- Realizzazione di una sorgente di luce brillante, visibile e microscopica in Si

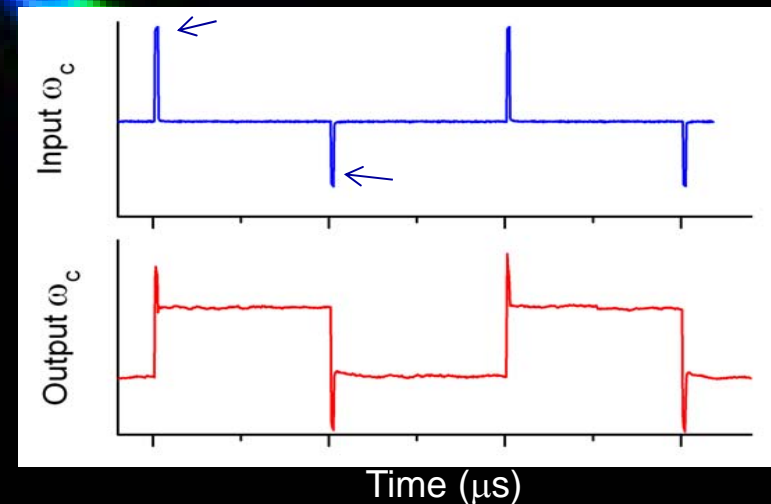
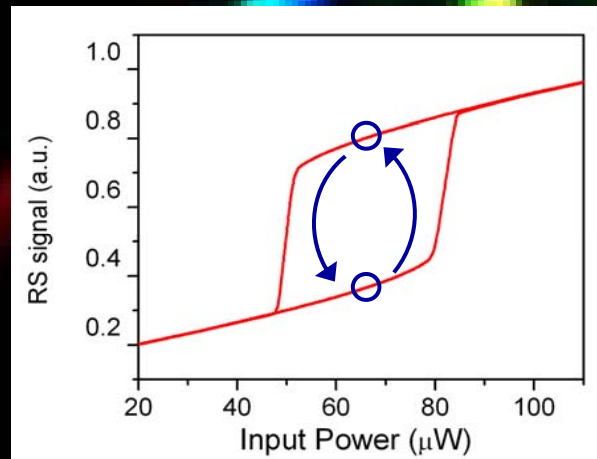
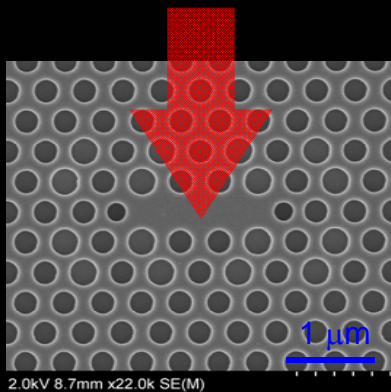
# Commutatore ottico (transistor) in nanocavità di Si-PhC

Laser di pompa pulsato



# RAM ottica in nanocavità di Si-PhC

Fascio IR di controllo

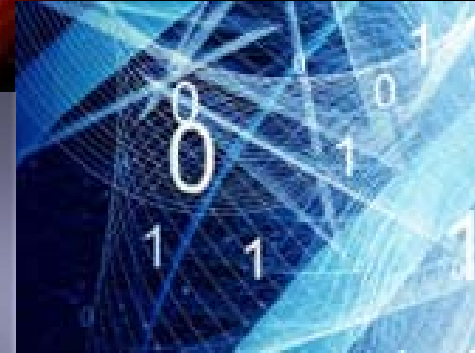
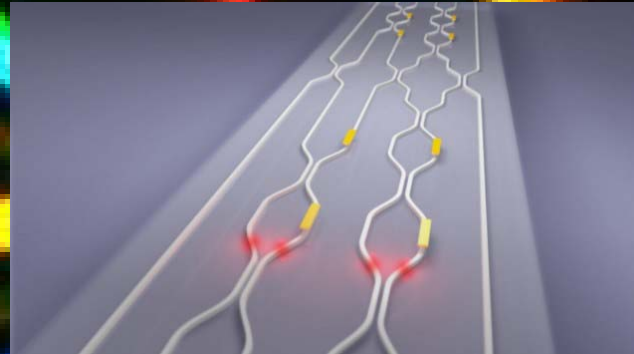


# Attività sperimentale in fotonica quantistica

**Goal:** realizzazione di micro- e nano-dispositivi in Si per l'emissione di stati quantici di luce.

## Applicazioni:

- Crittografia quantistica
- Computer quantistici on-chip

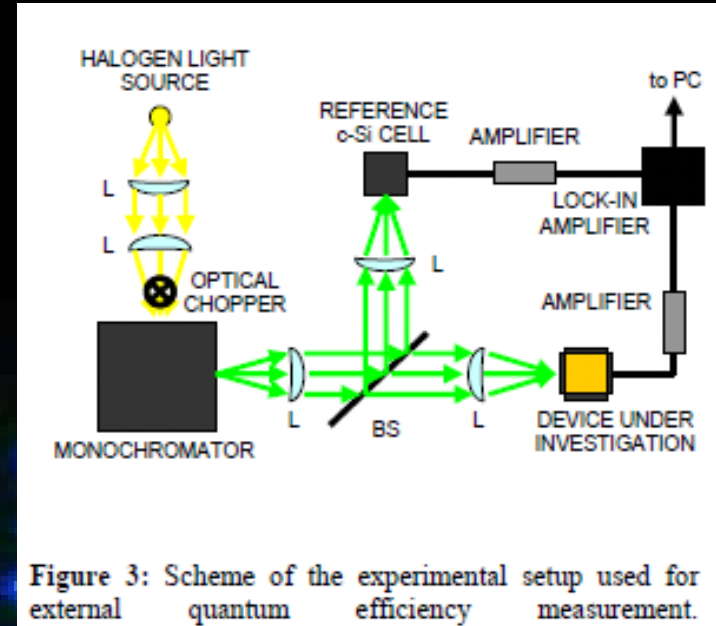
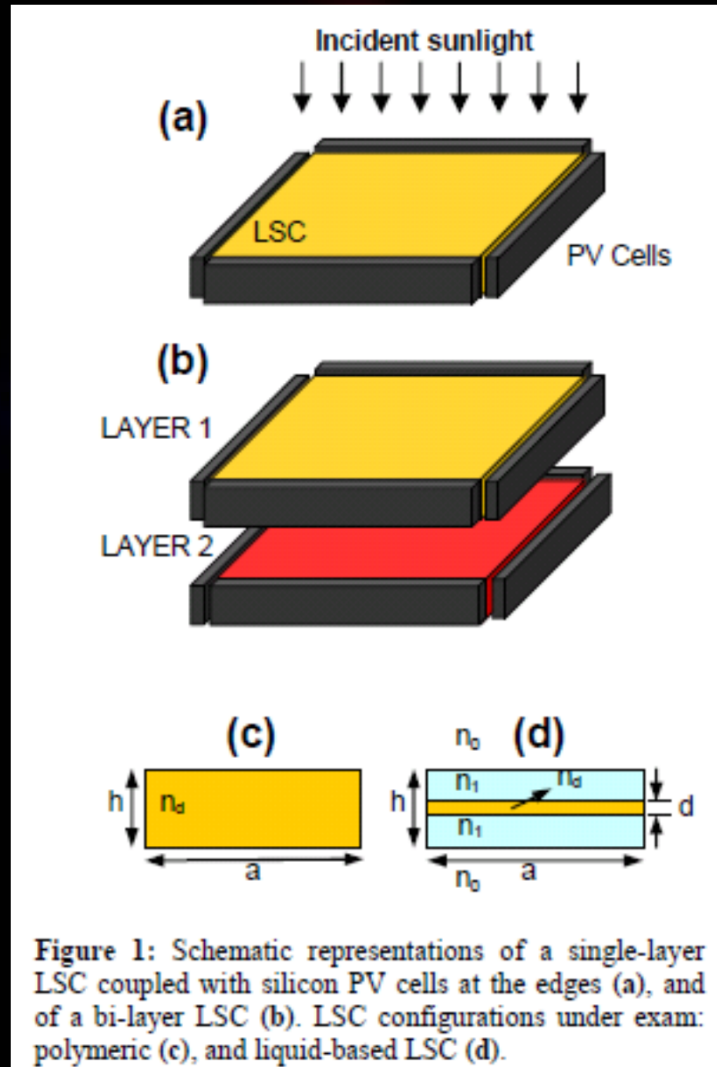


## Risultati recenti

- Emissione di fotoni correlati da risuonatori ad anello in Si
- Coppie di fotoni *entangled* da micro-dispositivi in Si per comunicazioni quantistiche a grande distanza su reti di fibre ottiche

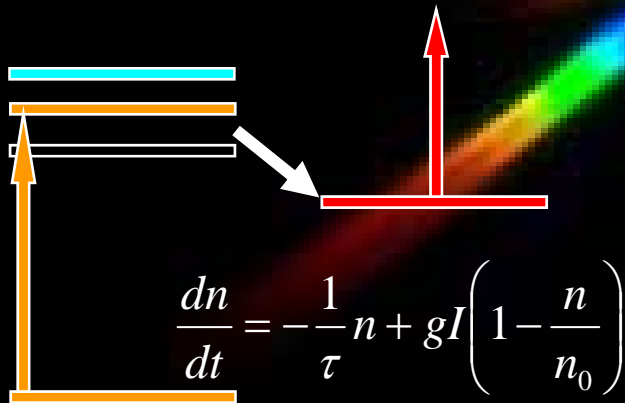
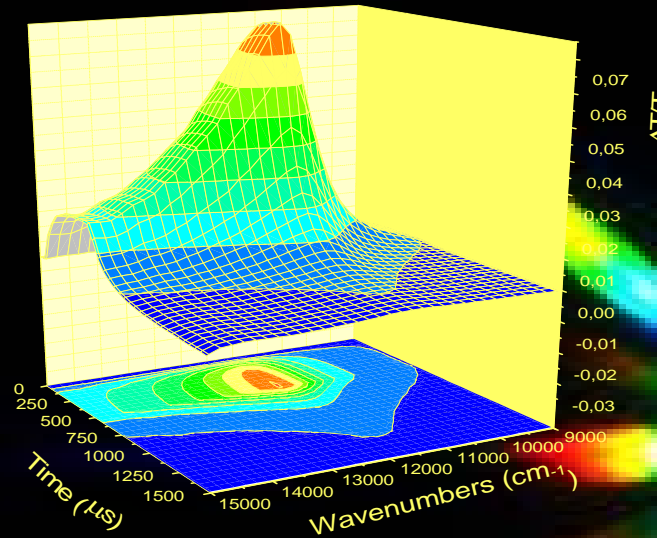
# Strutture fotovoltaiche

## Concentratori solari a luminescenza



# Polimeri conduttori

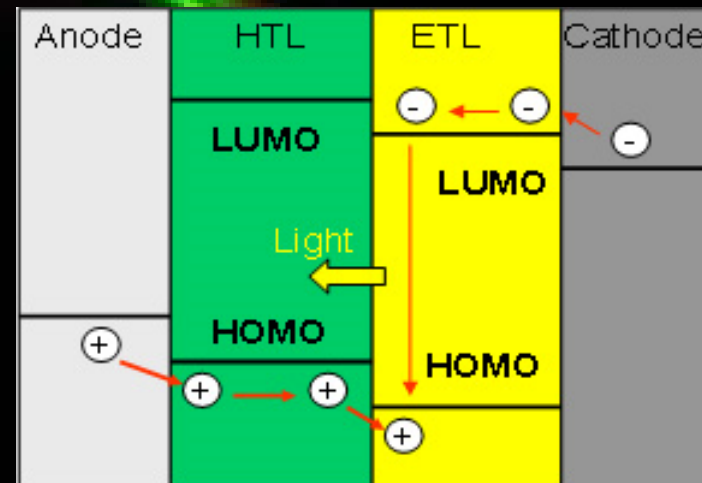
Fotofisica di eccitoni di tripletto



Spettroscopia ottica ad alte pressioni



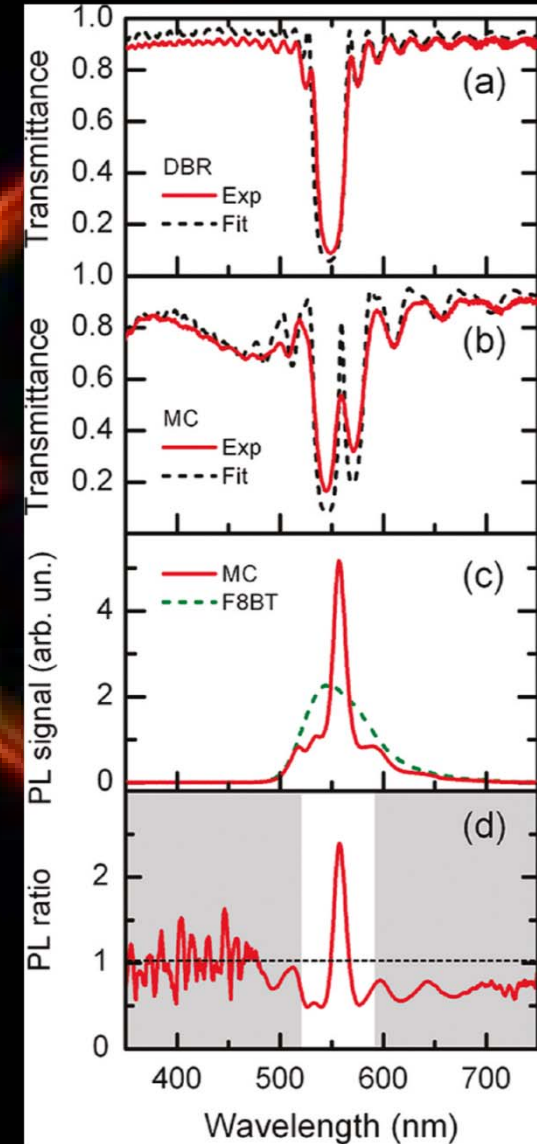
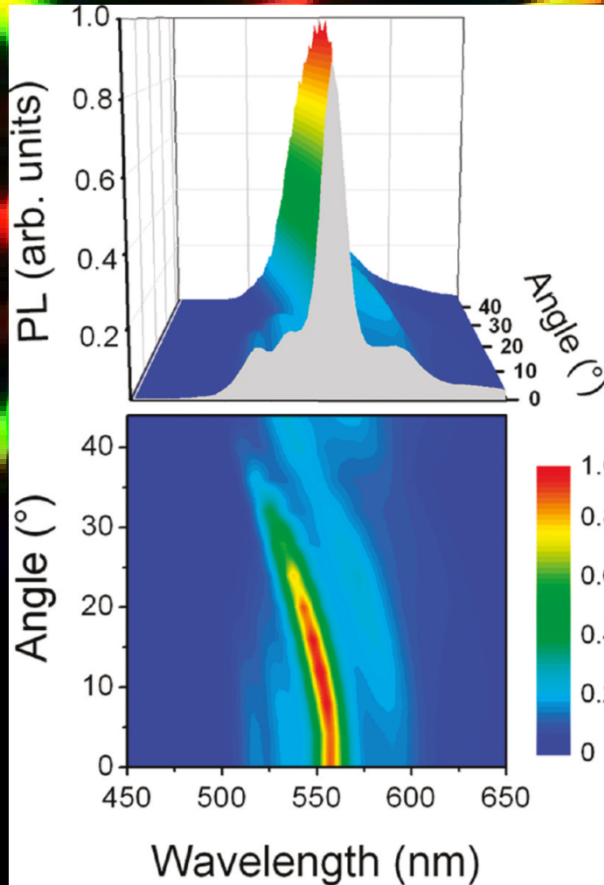
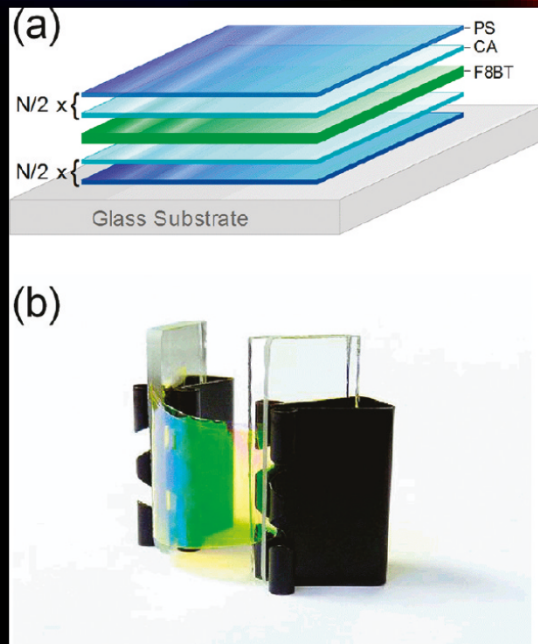
LED e Celle solari organiche





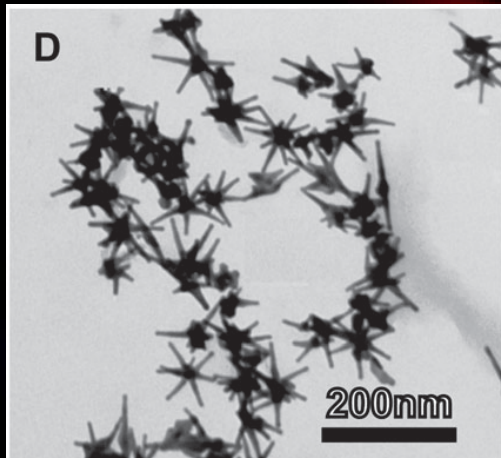
# Fotonica in plastica

Microcavità di polimeri flessibili e strutture di Bragg

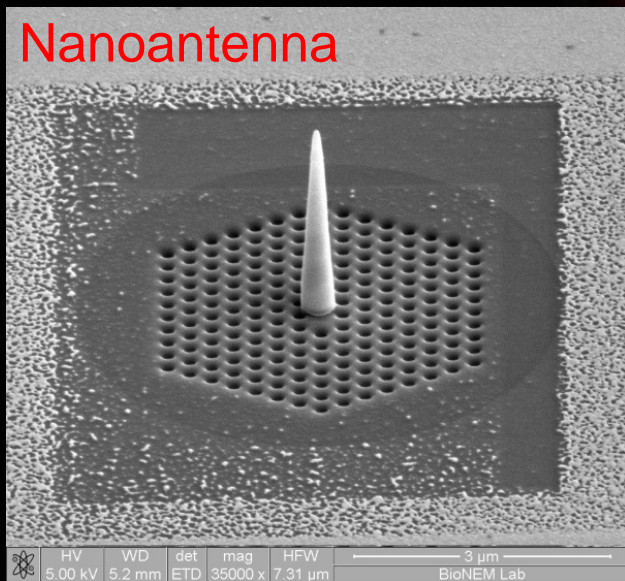


# Nanostrutture metalliche e Plasmonica

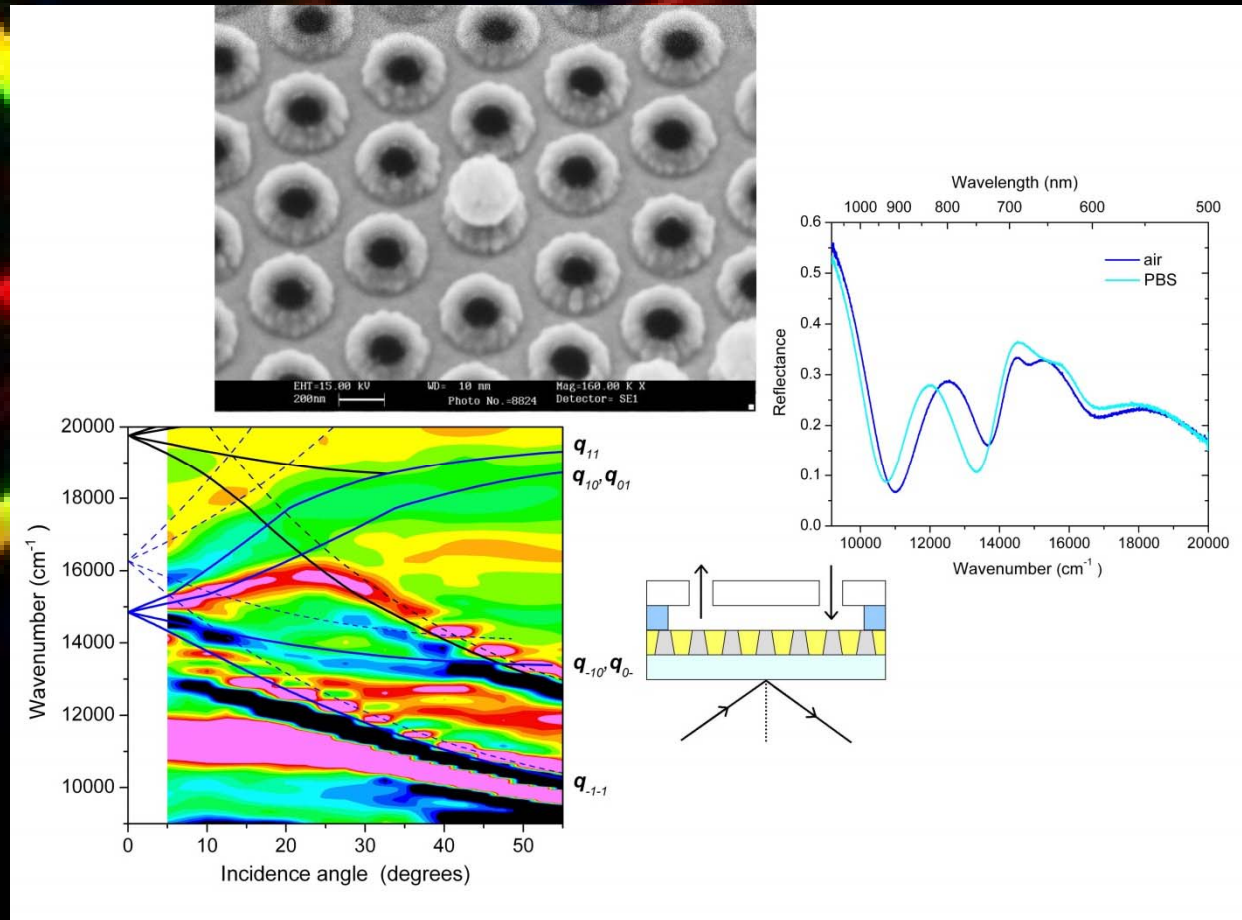
Superfici antimicrobiche  
e/o fototermiche



Nanoantenna



Biosensori multiparametrici basati su  
risonanza di plasmoni di superficie





**Matteo Galli**

Fotonica in silicio

Fotovoltaico



**Giorgio Guizzetti**



**Maddalena Patrini**

Plasmonica e PV

Applicazioni bio

Sistemi organici

e polimerici



**Daniele Bajoni**

Fotonica Quantistica



**Vittorio Bellani**

Nanostrutture in carbonio



**Franco Marabelli**

**Resp. del Lab.**