

Nanophotonics

Ottica e Fotonica (nonlineare) alla nanoscala



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

C.Sibilia

Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria (SBAI)

M.Belardini

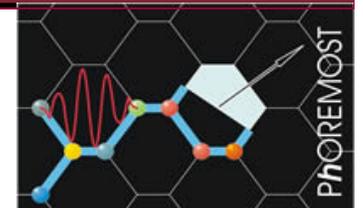
A.Benedetti

M.Centini

MC Larciprete

http://w3.uniroma1.it/lab_sibilia/

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Dipartimento SBAI



Sommario

- **Descrizione attività del Laboratorio**

Linee di Ricerca

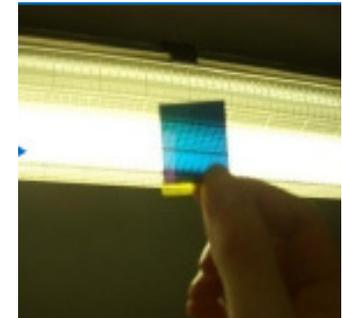
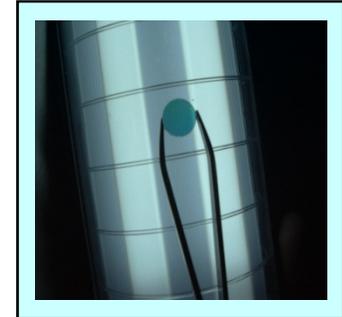
Strumentazione e apparati sperimentali

- **Collaborazioni scientifiche internazionali**

Partners industriali e accademici

Organizzazione conferenze, workshops

e scuole estive



Attività

- **Nonlinear Nanophotonics**

Theory and experiments

Nonlinear sources – single photons- photonics crystals

- **Nanoplasmonics**

Theory and experiments

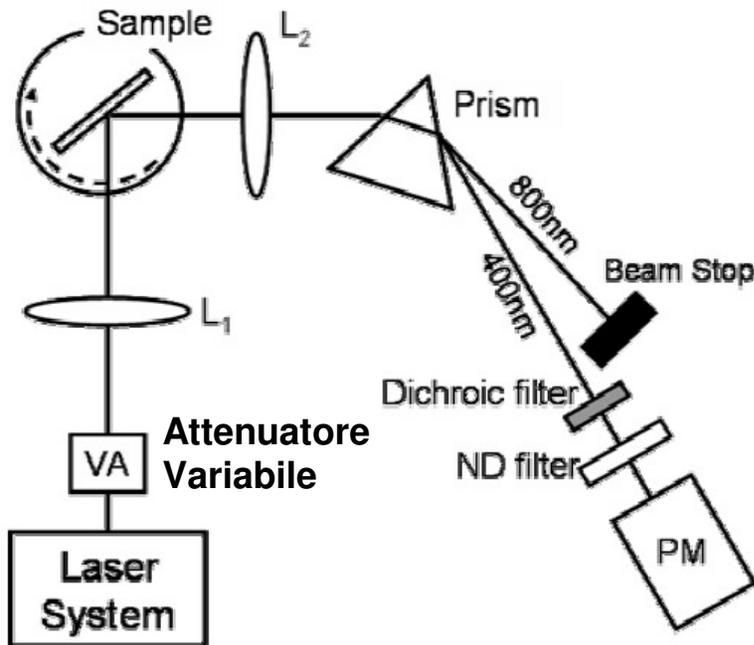
- **Metamaterials**

Negative index materials

invisibility, negative refraction

Nonlinear Nanophotonics

Set-up Sperimentale



Il set-up permette di ricavare le diverse componenti del tensore di generazione di seconda armonica:

1. Misure a diversi angoli di incidenza
2. Con diversi stati di polarizzazione della luce di pompa
3. E osservando diversi stati di polarizzazione della luce generata

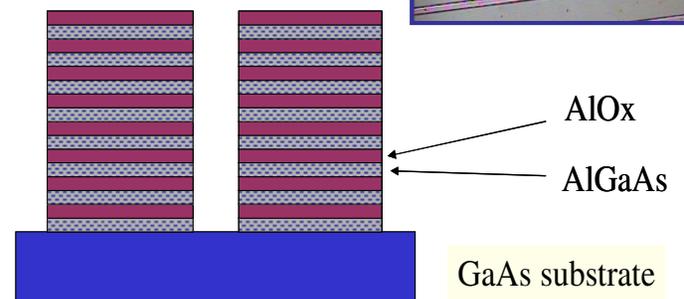
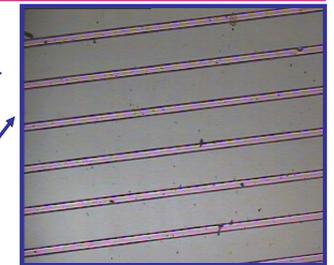
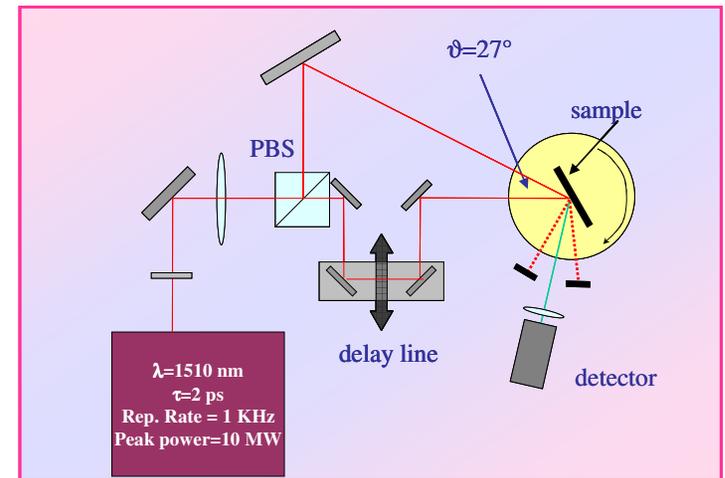
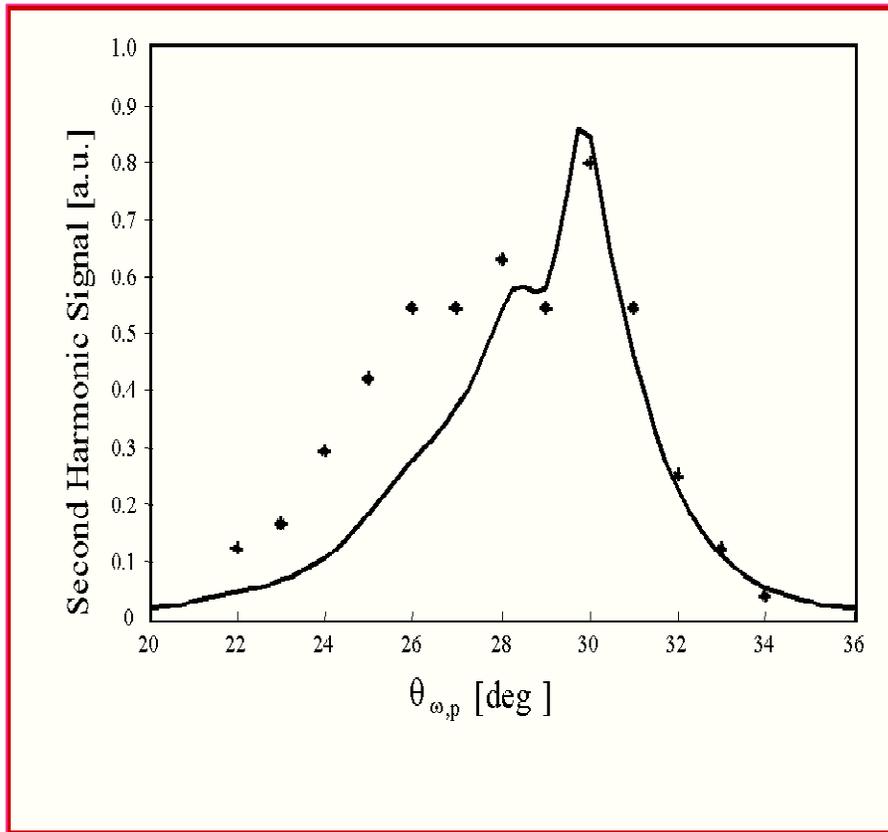
Le misure sono effettuate in funzione della potenza della pompa

Le misure possono essere effettuate sia in trasmissione che in riflessione (dipende dalla trasparenza del substrato e del film)

Mode locked Ti:Sapphire laser + amplificatore rigenerativo. ($\lambda=800$ nm, 1 kHz, 150 fs, 0.5 mJ per impulso).

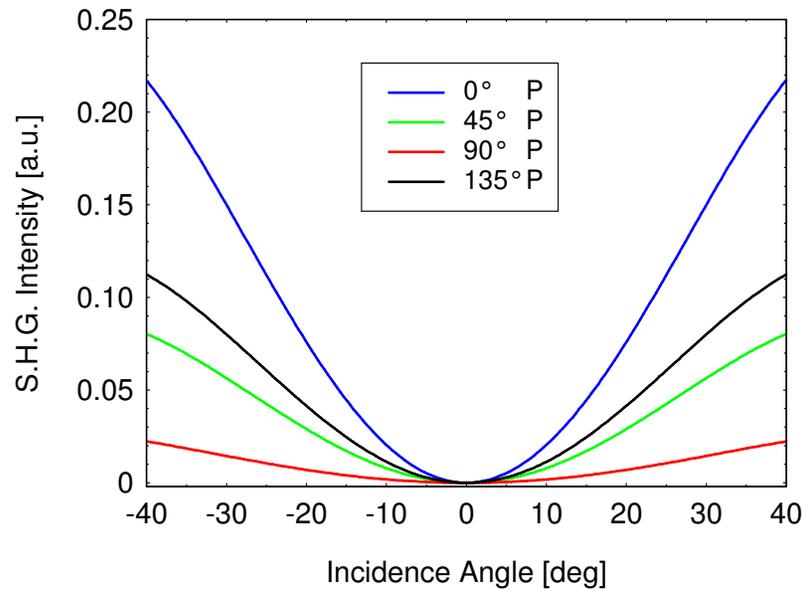
OPA: impulsi (150 fs) ad una lunghezza d'onda variabile con continuità da 1300 nm a 1600nm.

Generazione di Seconda Armonica in Strutture a Cristallo Fotonico

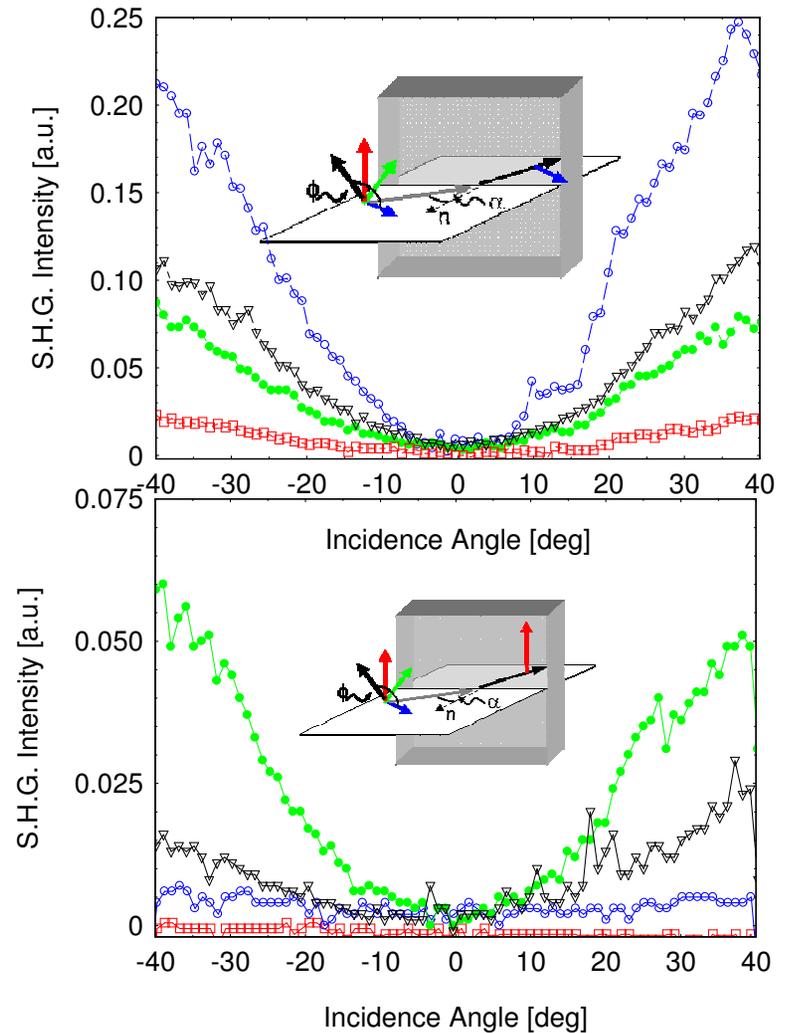


A. Bosco, M. Centini, L. Sciscione, C. Sibilia, E. Fazio, M. Bertolotti, A. Fiore, A. Convertino, L. Cerri, and M. Scalora
Appl. Phys. Lett. **84**, 3010 (2004).

Maker Fringes on Bacteriorhodopsin - chirality , pump 1064 nm



$d_{15} = d_{24} = 2.02$ pm/V , $d_{31} = d_{32} = 2.44$ pm/V ,
 $d_{33} = 4.70$ pm/V, the chiral coefficients $d_{25} = -d_{14} = 0.34$ pm/V.

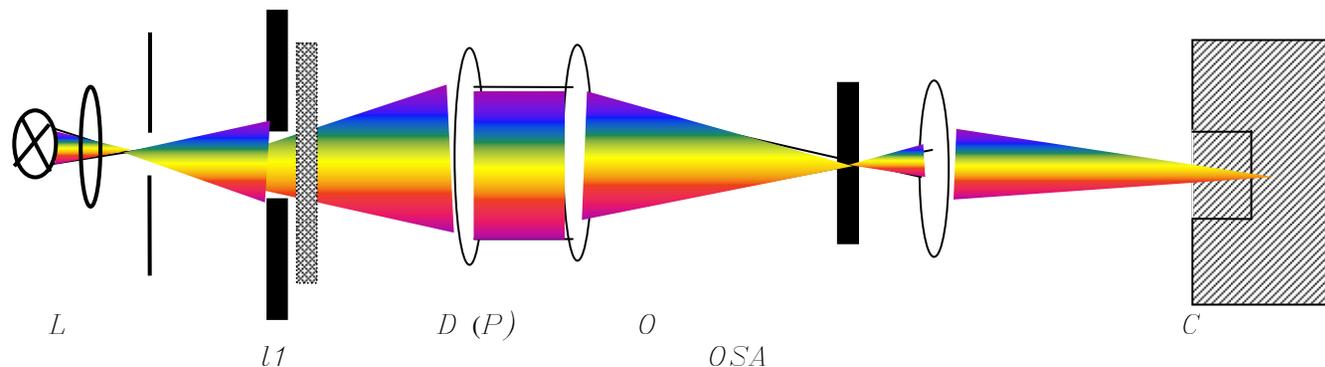


M.Larciprete et al. APL 2009

Caratterizzazione lineare: analisi spettrofotometriche

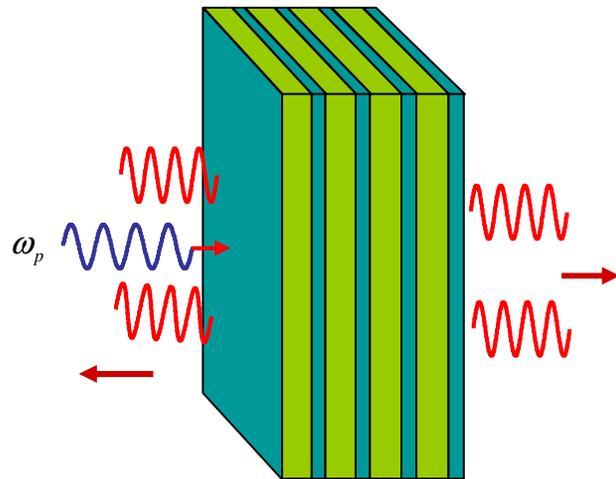
Misure degli spettri di trasmissione di campioni di diverso tipo

- Lampada a largo spettro (Xe lamp)
- Monocromatore
- Spettrofotometro per analizzare le lunghezze d'onda nel visibile e nell'infrarosso
- Portacampioni con rotazione per cambiare l'angolo di incidenza



Generazione di coppie di fotoni per SPDC In PhC

1D Ph Crystal

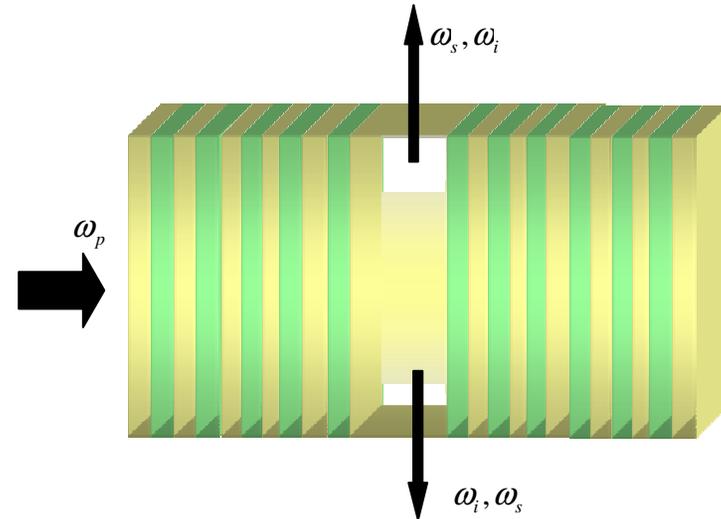


$$E_n = A_n^{(+)}(z)\Theta_n^{(+)}(z) + A_n^{(-)}(z)\Theta_n^{(-)}(z)$$

M. Centini et al. Phys. Rev. A 72, 033806 (2005)

- ✓ Size
- ✓ High brightness per mode
- ✓ Narrow linewidth

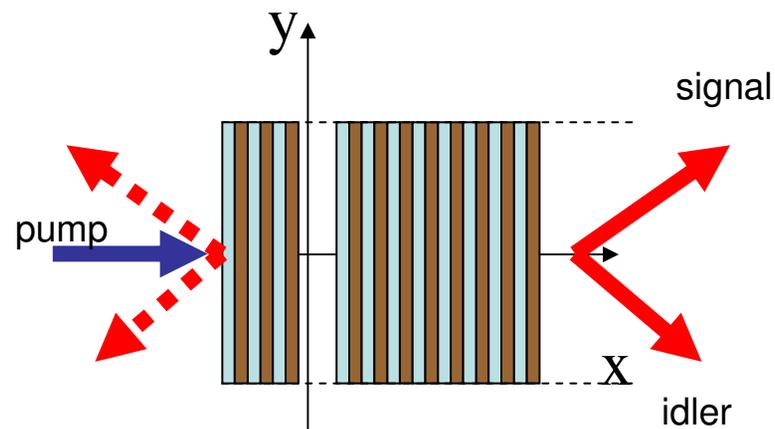
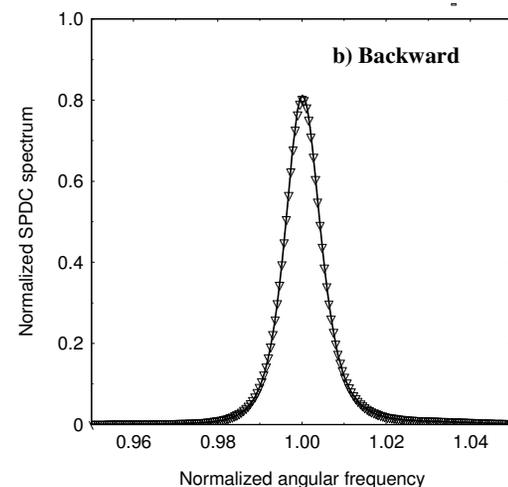
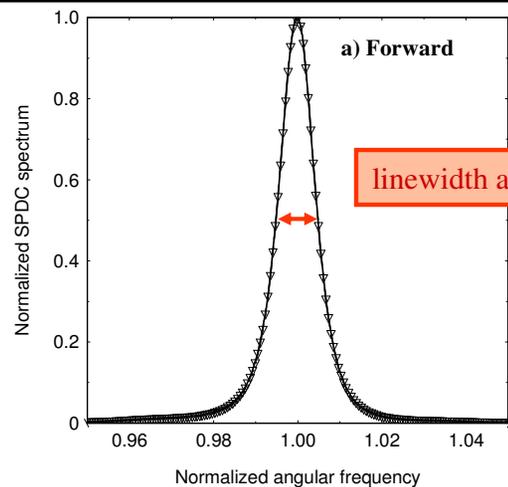
1+1 D Ph Crystal



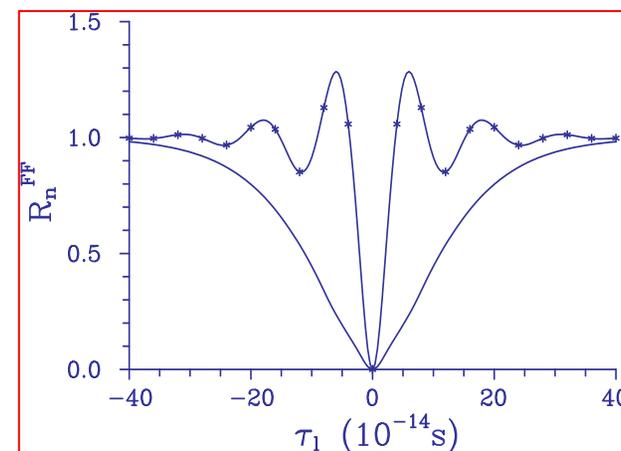
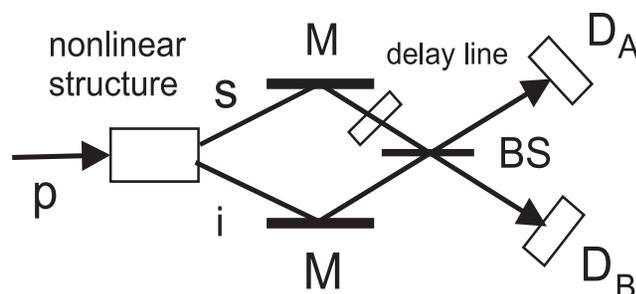
L. Sciscione et al., Phys. Rev. A 74, 013815 (2006)

- ✓ Size
- ✓ High brightness per mode
- ✓ Narrow linewidth
- ✓ Guided entangled photon source

Generazione di Fotoni Gemelli per fluorescenza parametrica in strutture a cristallo fotonico unidimensionali (Teoria-simulazioni)

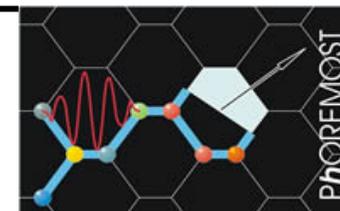


•Coincidence-count rate of mode FF in Hong-Ou-Mandel interferometer



Applicazioni nel campo della quantum information

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Dipartimento SBAI

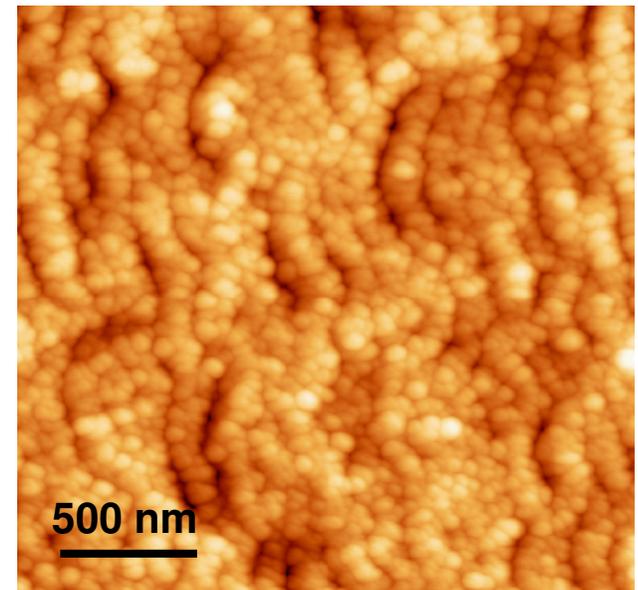
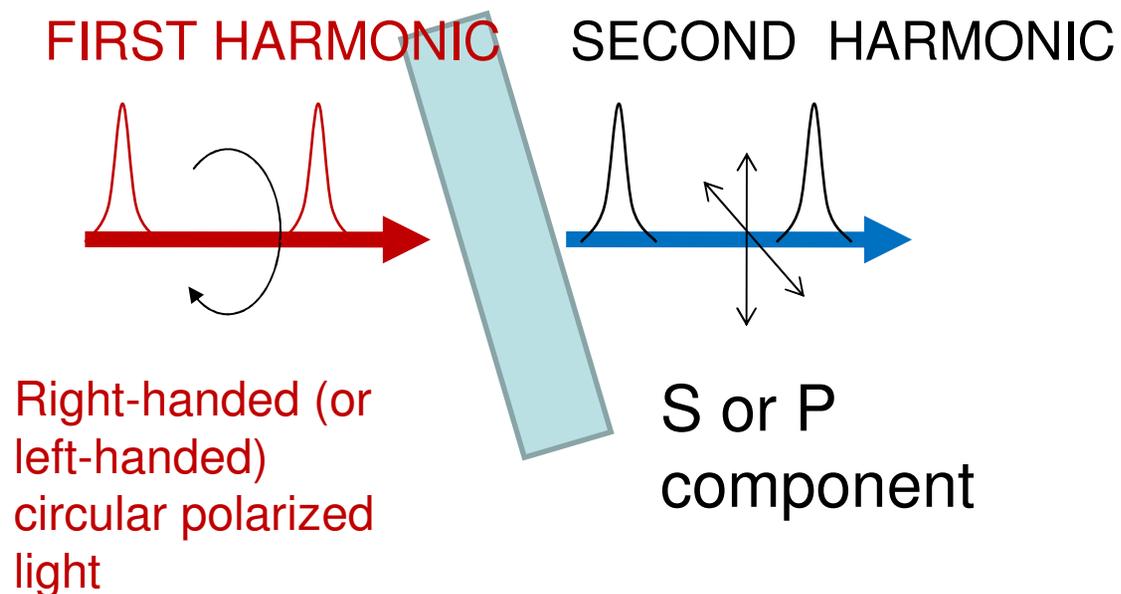


Nanoplasmonics

SHG PER ANALISI DI STRUTTURE NANOSCOPICHE

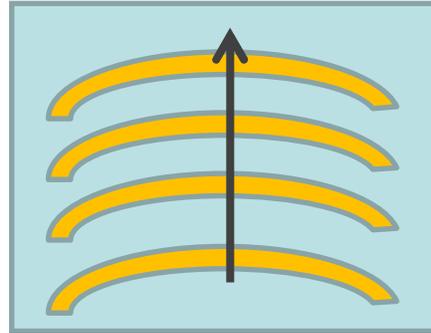
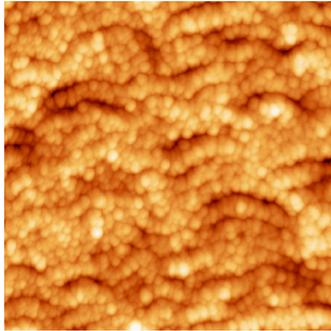
Effettuando misure di generazione di seconda armonica su un campione nanostrutturato è possibile indagare le proprietà di simmetria della superficie

Per esempio la differenza nella generazione con luce a polarizzazione circolare sinistra rispetto a luce polarizzata circolare destra fornisce preziose informazioni circa la curvatura di nanofili metallici

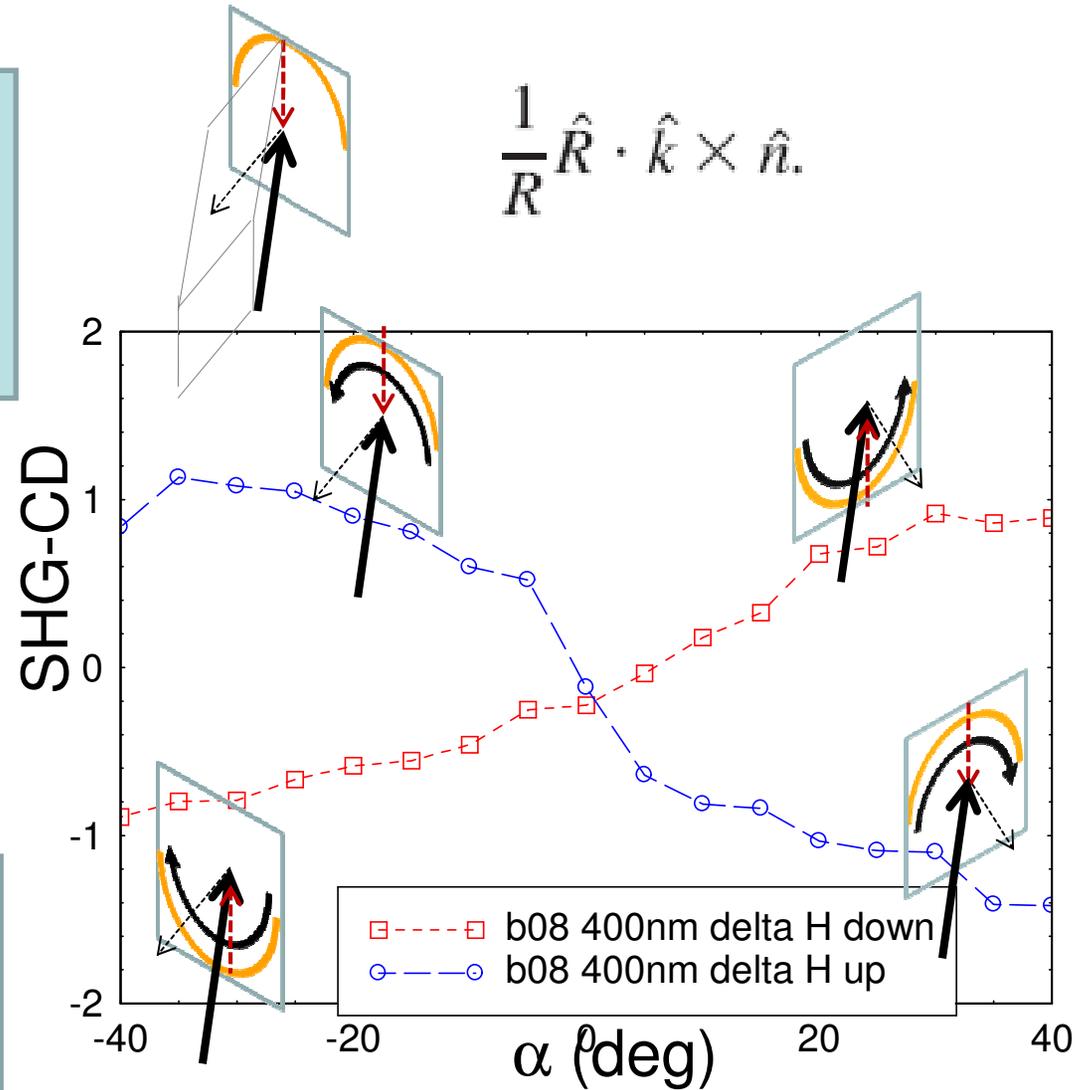
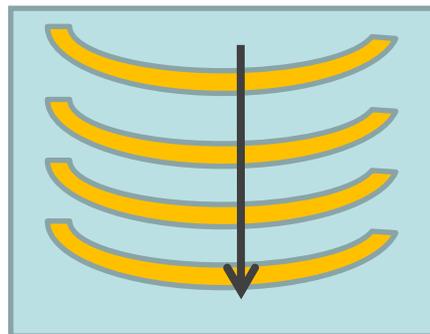
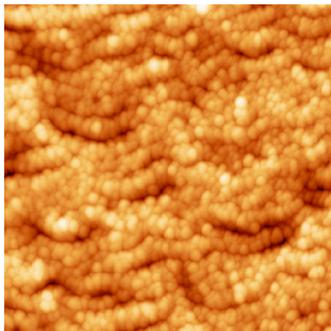


$$SHG - CD = \frac{I_L^{2\omega} - I_R^{2\omega}}{(I_L^{2\omega} + I_R^{2\omega})/2}$$

RISULTATI SPERIMENTALI



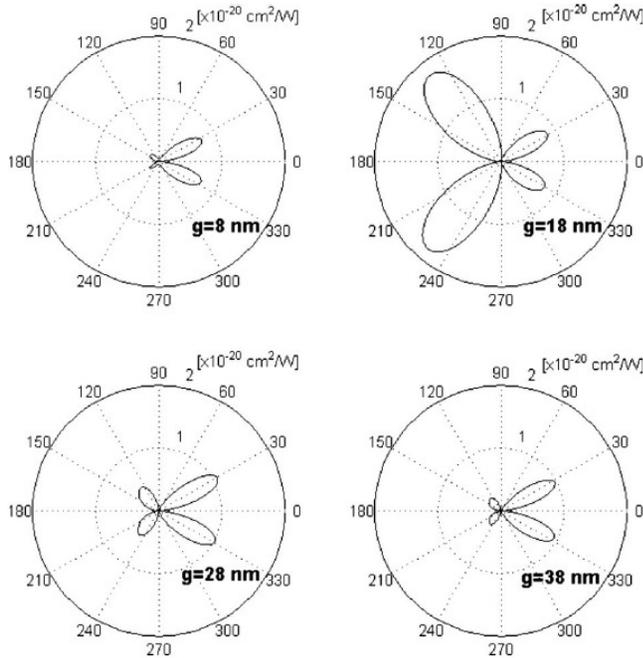
IL SEGNALE DI SHG
DIPENDE FORTEMENTE
DALLA ORIENTAZIONE
DELLA CURVATURA



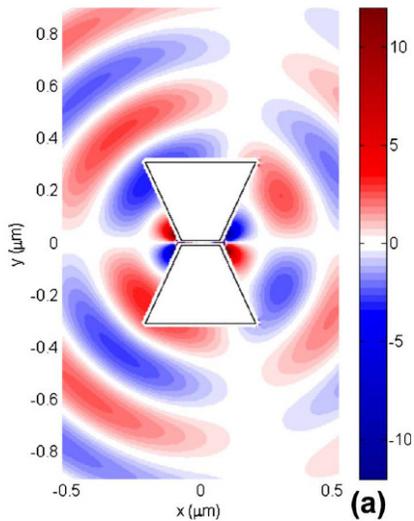
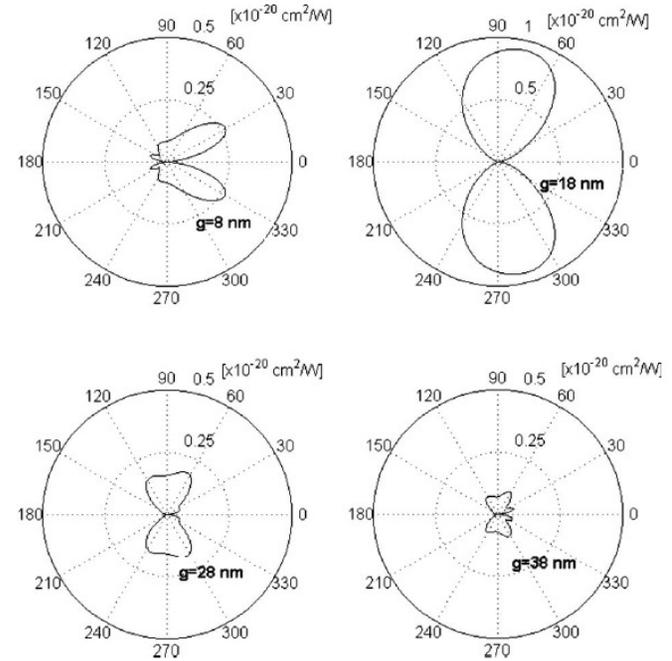
Belardini et al. PRL 107, 257401 (2011)

2D Au nanonatennas: Numerical analysis

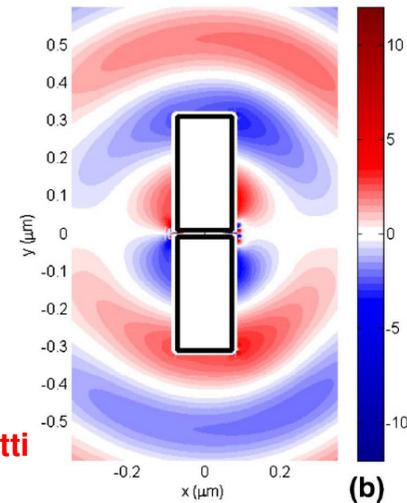
Engineering the SH emission pattern



Far field differential scattering cross sections for RS and TS wires for different values of the gap between wires



Real part of the magnetic field H_z (A/m) at the second harmonic frequency for $g=18$ nm

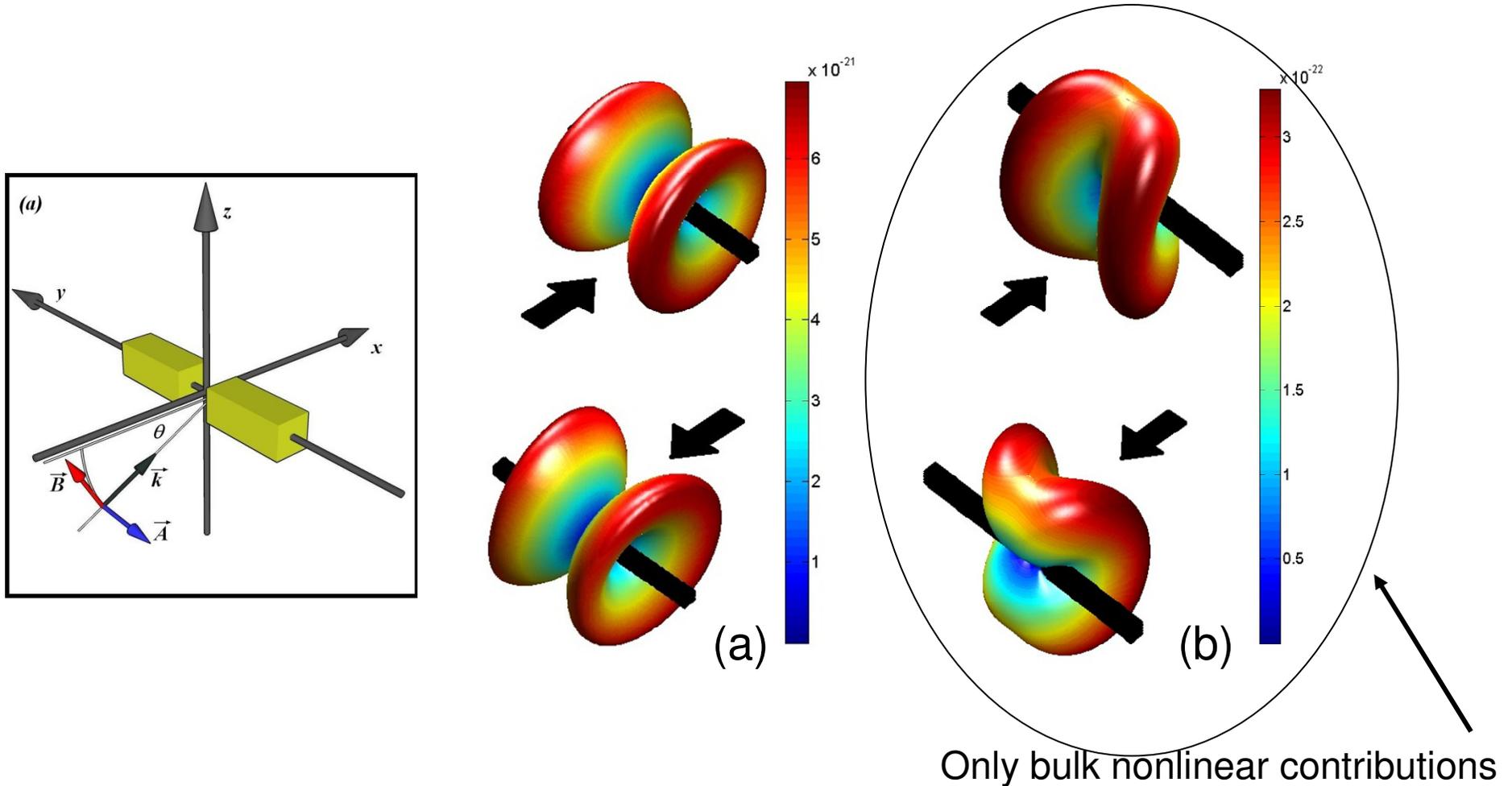


A. Benedetti, M. Centini, C. Sibilìa, M. Bertolotti
 J. Opt. Soc. Am. B Vol. 27, No. 3, 2010

3D nanoantennas role of bulk and surface nonlinear contributions

Second harmonic differential scattering cross section [cm^2/W] for TE pump

(13x13) nm^2 antenna

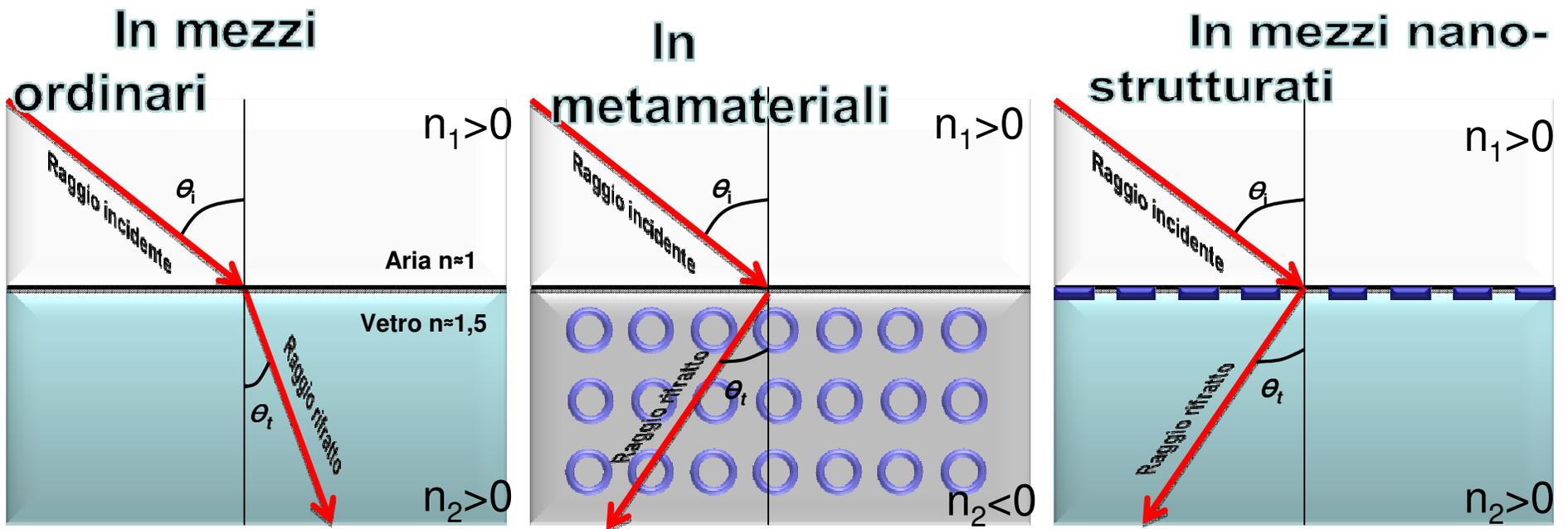


Benedetti A; Centini M; Bertolotti M; Sibilia C, Second harmonic generation from 3D nanoantennas: on the surface and bulk contributions by far-field pattern analysis OPTICS EXPRESS (2011) 19, 26752

Metamaterials

MISURE DELLA RIFRAZIONE ANOMALA

IN MATERIALI NANOSTRUTTURATI LA RIFRAZIONE DELLA LUCE PUO' AVVENIRE IN MANIERA ANOMALA E PUO' ESSERE INGEGNERIZZATA



Legge di Snell:
 $\sin \theta_t = (n_1/n_2) \sin \theta_i$

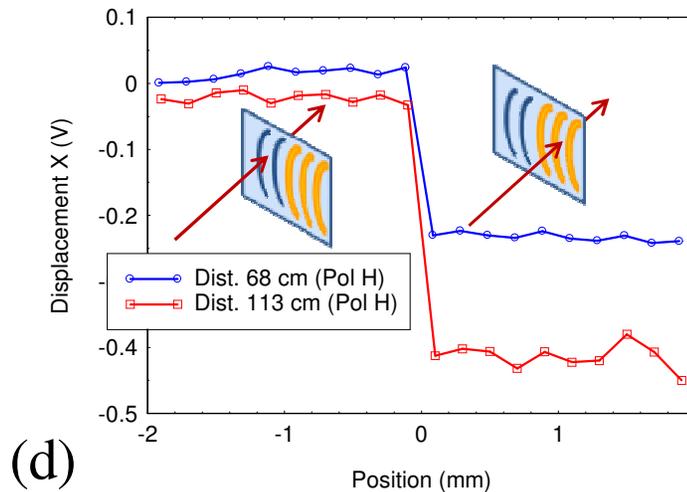
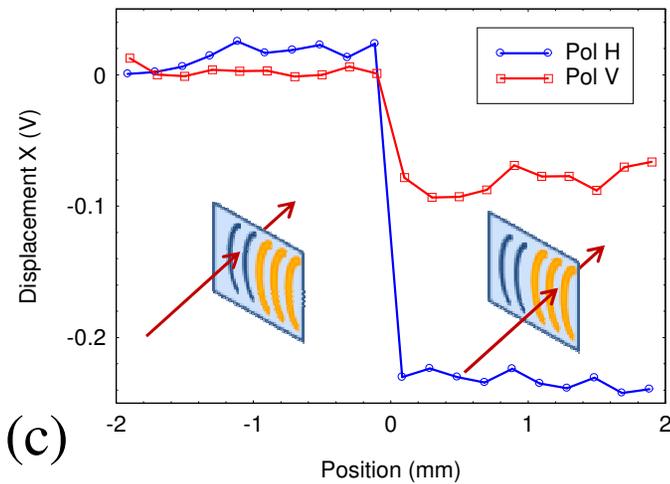
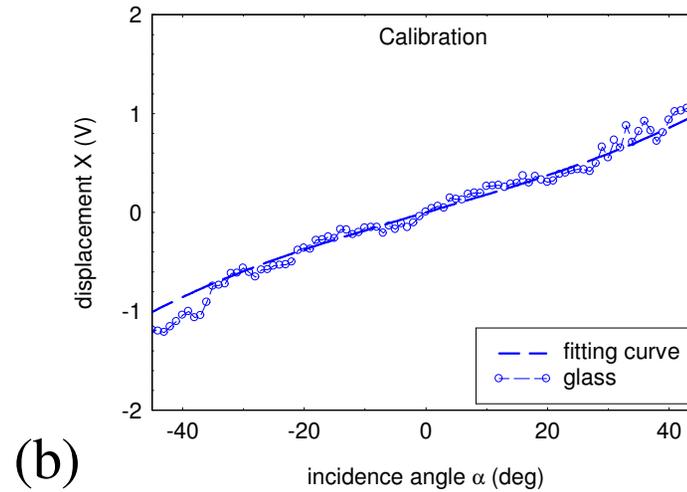
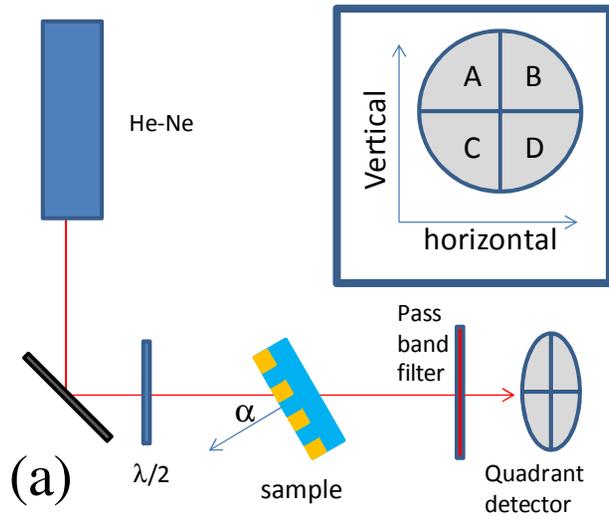
Legge di Snell nel caso $n_2 < 0$:
 $\sin \theta_t = -n_1/|n_2| \sin \theta_i$

Legge di Snell generalizzata:
 $\sin \theta_t = [n_1/n_2] \sin \theta_i + \phi(r_s)$

V.G.Veselago (1968)

F.Capasso (2011)

Evidence of anomalous refraction of self-assembled curved gold nanowires

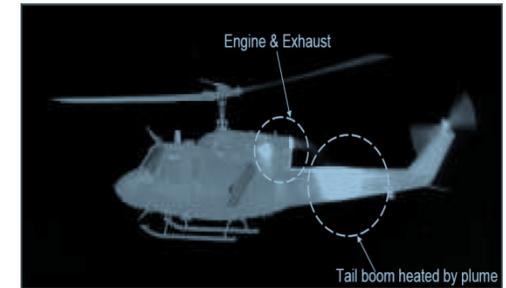


Sviluppo di filtri e schermi ottici nell'IR

Ogni corpo a $T \neq 0$ si comporta come una sorgente di calore che emette nell'IR con uno spettro di corpo nero:

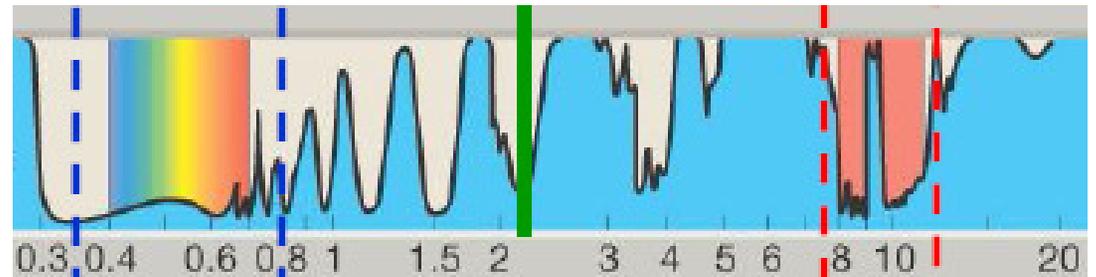
$$\rho(\omega, \beta) = \frac{\omega^2}{2c^2} \frac{\hbar\omega}{e^{\hbar\omega\beta} - 1}$$

$$\beta \equiv \frac{1}{k_B T}$$



La radiazione elettromagnetica IR che si propaga nell'atmosfera terrestre è limitata alle due finestre di trasmissione, 3-5 μm ed 8-12 μm

Lo studio di appositi filtri permette di controllare la funzione di, $\mathcal{E}^{\text{TF}}(\omega)$, e quindi di modificare lo spettro di corpo nero della sorgente di calore:



$$\rho_{\mathbf{k}}^{\text{TF}}(\omega, \beta) = \mathcal{E}_{\mathbf{k}}^{\text{TF}}(\omega) \rho^{\text{BB}}(\omega)$$

L'emissività di un filtro, $\mathcal{E}^{\text{TF}}(\omega)$, è proporzionale alla sua assorbanza, in accordo con la legge di Kirchkoff.

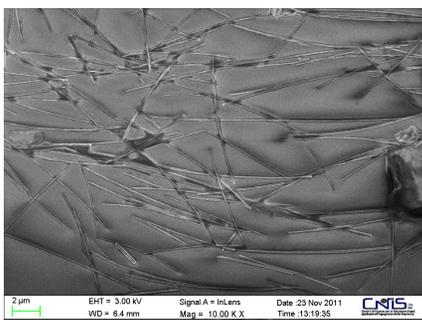
$$\mathcal{E}_{\mathbf{k}}(\omega) = \mathcal{A}_{\mathbf{k}}(\omega) = 1 - \mathcal{R}_{\mathbf{k}}(\omega) - \mathcal{T}_{\mathbf{k}}(\omega)$$

Studio dell'emissione IR di strutture metallo dielettriche

Misure di emissione infrarossa con telecamera LWIR (8-12 μm)

La telecamera fornisce un array di dati di temperatura

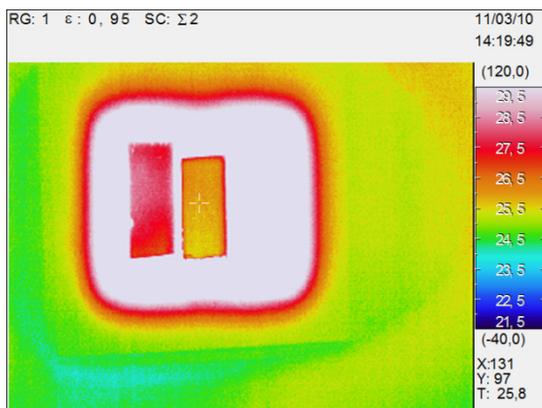
Esempio: film di nanofili di argento
(diametro 60 nm, lunghezza 10-15 μm)



Telecamera IR

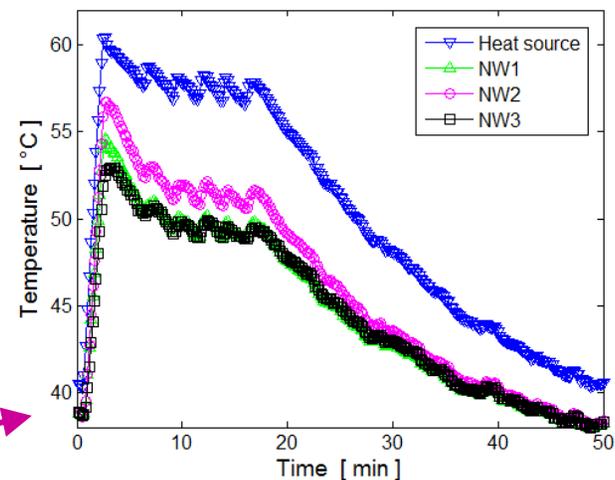
Sorgente di calore

Campione



Esempio di immagine IR ottenuta durante la fase di riscaldamento dei filtri

Eseguendo delle misure ad intervalli di tempo regolari è possibile seguire l'evoluzione temporale della temperatura apparente del filtro



Collaborazioni interne alla Sapienza

- Dip.di Scienze di Base e applicate per l'Ingegneria (SBAI)
- Dip. di Ing. Elettronica (DiE)
- Dip. di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente
- Dip. di Meccanica ed Aeronautica
- Nanolab-CNIS

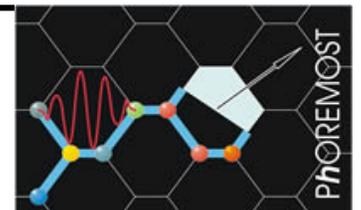
Partners ITALIANI

- ENEA (Centro di ricerca di Frascati e Brindisi)
- CNR- Dip.Materiali e Dispositivi
 - IFN Istituto di fotonica e nanotecnologie - MI
- CNISM (Consorzio Interuniversitario per le Scienze Fisiche della Materia)

UNIVERSITA' DI GENOVA

QUANTUM OPTICS LAB- SELEX-SI-GE

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Dipartimento SBAI



Collaborazioni Internazionali

EOS -European Optical Society

OSA- American Optical Society

Nanophotonics Europe Association

Metamorphose virtual Institute

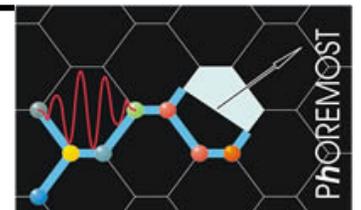
University of Dayton –USA

University of Leuven –Be

University Paris VII – Fr

Moscow State University- Ru

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Dipartimento SBAI



Organizzazione Conferenze, workshops, scuole estive

-EOS ANNUAL MEETING – ABERDEEN 22-29 SEPT. 2012

-CIMTEC 2012 – Montecatini Terme 10-14 JUNE 2012

-ADVANCES ON NANOPHOTONICS – ERICE - 17-29 JULY 2012

MASTER INTERFACOLTA' ICI-I3S IN OPTICS AND QUANTUM
INFORMATION-OQI

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
Dipartimento SBAI

