



Nanostrutture plasmoniche per l'ottimizzazione delle prestazioni di pannelli fotovoltaici

V. Marrocco

*Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica (DEE), Politecnico di
Bari, Via Re David 200, 70125, Bari*

e-mail: valeria.marrocco@gmail.com

Sommario

- **Celle fotovoltaiche:**
 - ✓ struttura base
 - ✓ principio di funzionamento
 - ✓ parametri caratteristici
- **Tipologia di celle fotovoltaiche:**
 - ✓ monocristalline
 - ✓ policristalline
 - ✓ film sottile
- **Strategie per il miglioramento delle prestazioni di celle a film sottile**
- **Le strutture plasmoniche:**
 - ✓ effetti: concentrazione di radiazione solare e aumento dell'assorbimento della radiazione incidente
- **Risultati attesi e valutazione dell'impatto sull'attuale tecnologia**

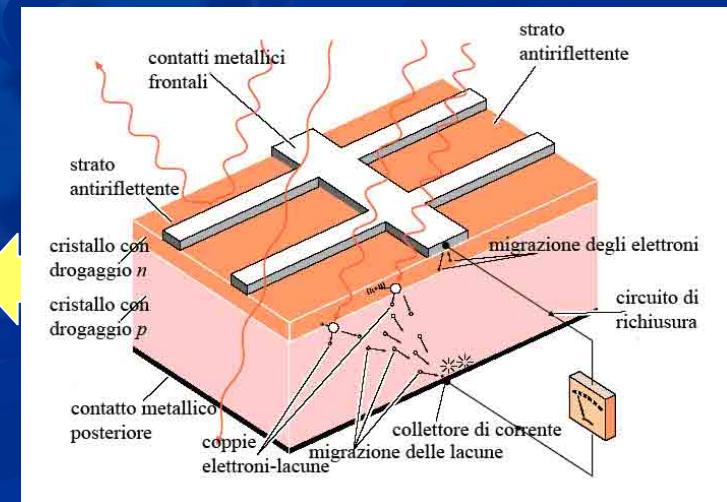
Celle fotovoltaiche

Composizione classica



- materiale semiconduttore (di solito **Si**) di spessore pari circa a 0,2-0,3mm. Lo strato Si è drogato in modo da costituire una **giunzione P-N**
- contatti elettrici metallici
- **antireflection (AR) coating** : uno strato sottile di ossido di titanio per minimizzare la componente di radiazione solare riflessa
- **texturing**

L'effetto fotovoltaico si realizza quando un elettrone presente nella **banda di valenza** di un materiale (generalmente **semiconduttore**) passa alla **banda di conduzione** a causa dell'assorbimento di un **fotone** con sufficiente energia proveniente dalla luce incidente sul materiale



Parametri per la valutazione delle prestazioni di celle fotovoltaiche

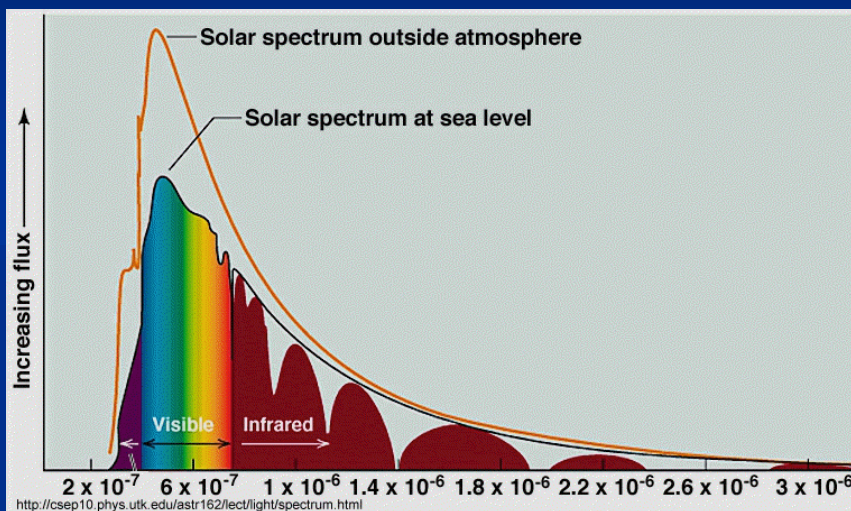
- Il parametro più importante della cella è il suo **rendimento η , o efficienza**, che rappresenta il rapporto tra la massima potenza P_{max} [W/p] che si ottiene dalla cella e la potenza totale della radiazione incidente sulla superficie frontale

Fill Factor (FF):
 $FF = I_m V_m / I_{sc} V_{oc}$

$$\eta = \frac{I_m V_m}{P_s}$$
$$\eta = I_{sc} V_{oc} FF / P_s$$

dove P_s è la potenza della luce solare incidente

Spettro solare e condizioni di irradiazione luminosa

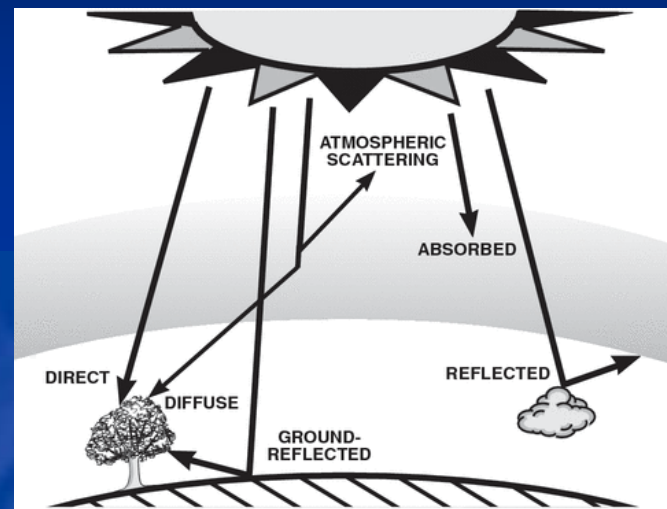


Tre intervalli di interesse

Visibile: $400 < \lambda < 700$ nm

Infrarosso (IR): $1000 < \lambda < 1800$ nm

Lontano IR (far IR): $2000 < \lambda < 2500$ nm



Parametri che incidono sulle prestazioni delle celle:

- Intensità della radiazione
- Temperatura
- Inclinazione delle celle
- Orientamento
- Ombreggiamento

Tipologie di celle fotovoltaiche

Monocristalline



- Si ad elevata purezza
- durabilità nel tempo
- alta **efficienza**, 15-20% con una corrente tipica di 3.5A/dmq
- luce diretta
- **costose**



Policristalline



- blocchi di Si tagliati in wafer
- **efficienza** attorno al 11-15% con una corrente di 3A/dmq
- luce diretta
- **presenza di evidenti imperfezioni**
- **meno costose**



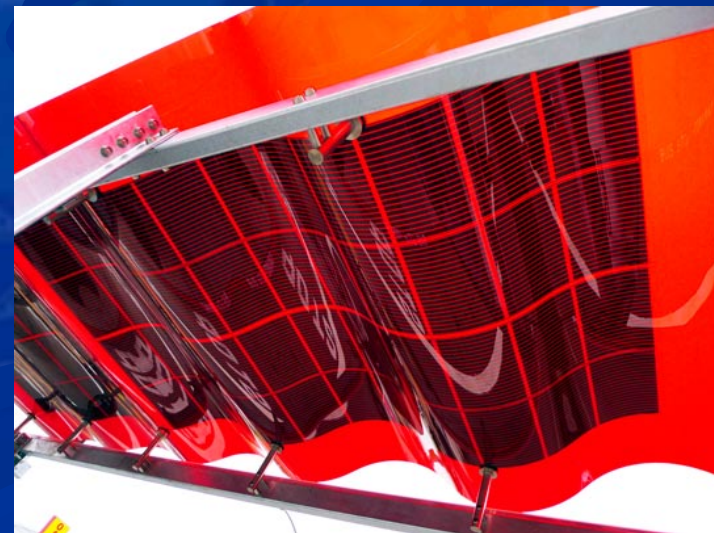
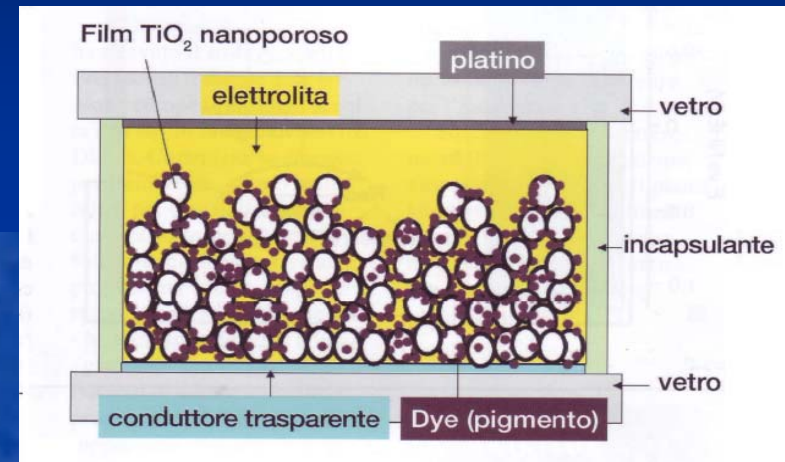
Tipologie di celle fotovoltaiche

Film Sottile



- silicio amorfo (α -Si), CdTe, CIGS, con coloranti (DSSC), materiale organico di 1-2 μ m deposto direttamente su materiale vetroso
- lavora bene anche in condizioni di **luce diffusa**
- pi \grave{u} **economico**
- **sovradimensionamento** della superficie
- **efficienza** attorno al 6-8% con una corrente tipica di 1-2A/dmq

Cella di Gratzel a film sottile (DSSC)



Strategie per il miglioramento delle prestazioni di celle fotovoltaiche a film sottile

- Aumento dello scattering
- Light-trapping

Nanotecnologia

Cristalli fotonici

Nanoparticelle metalliche

Nanostrutture metalliche

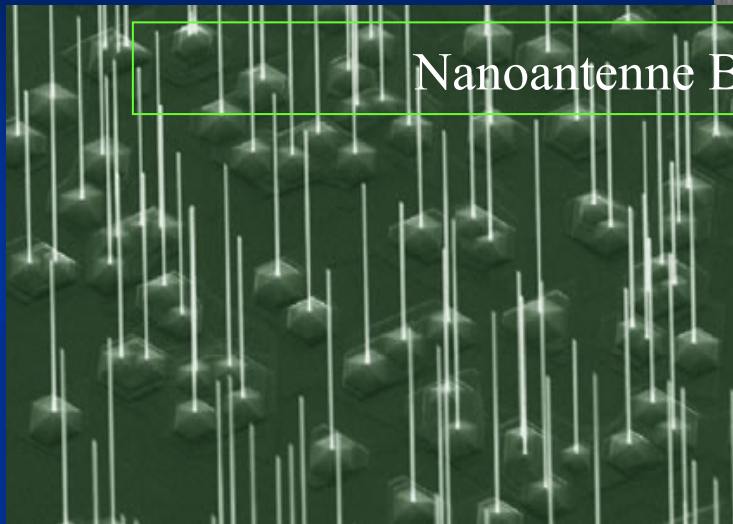
Nanoantenne

Miglioramento dell'AR coating

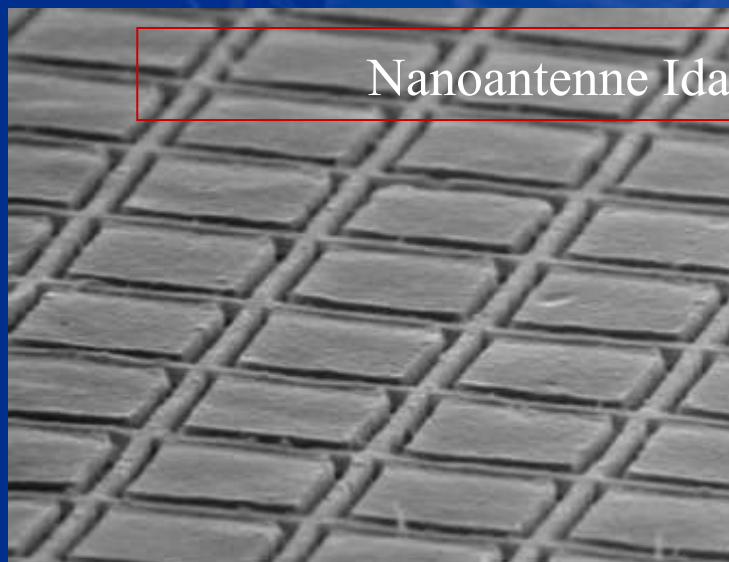
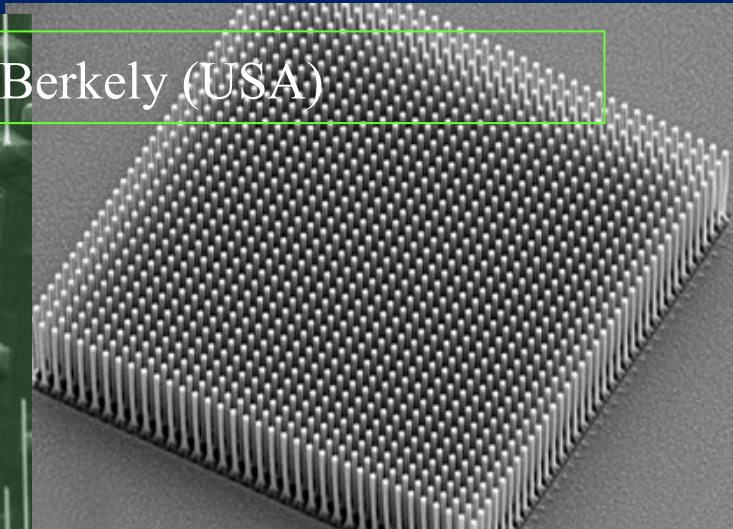
Single layer :di solito wideband ma con R più alta (0.5%)

Multilayers: sono a banda più stretta e coprono diversi intervalli di frequenza; R più bassa (0.15%)

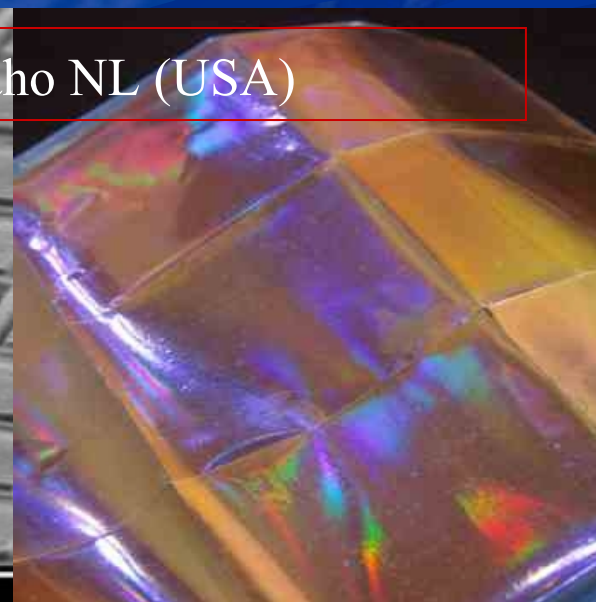
Nanostrutture plasmoniche



Nanoantenne Berkely (USA)



Nanoantenne Idaho NL (USA)

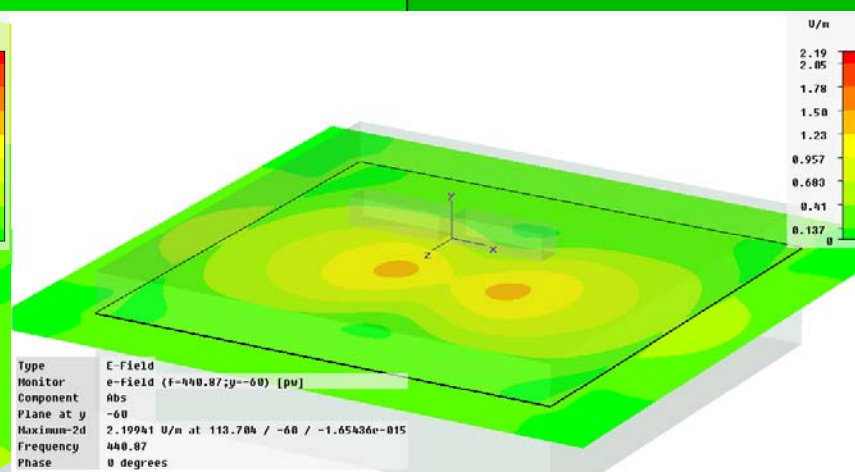
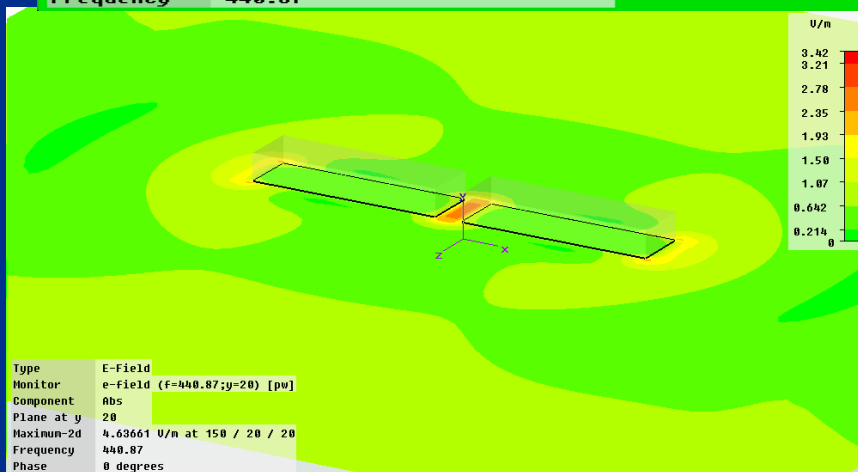
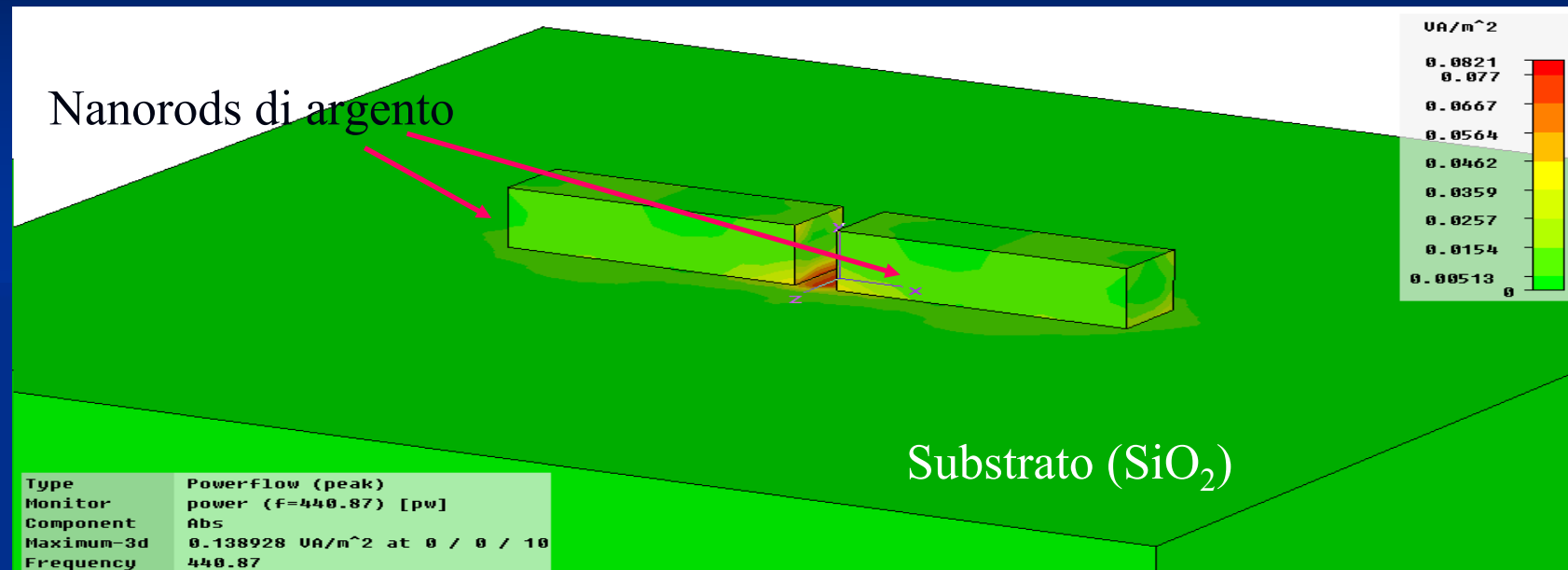


08/12/2006

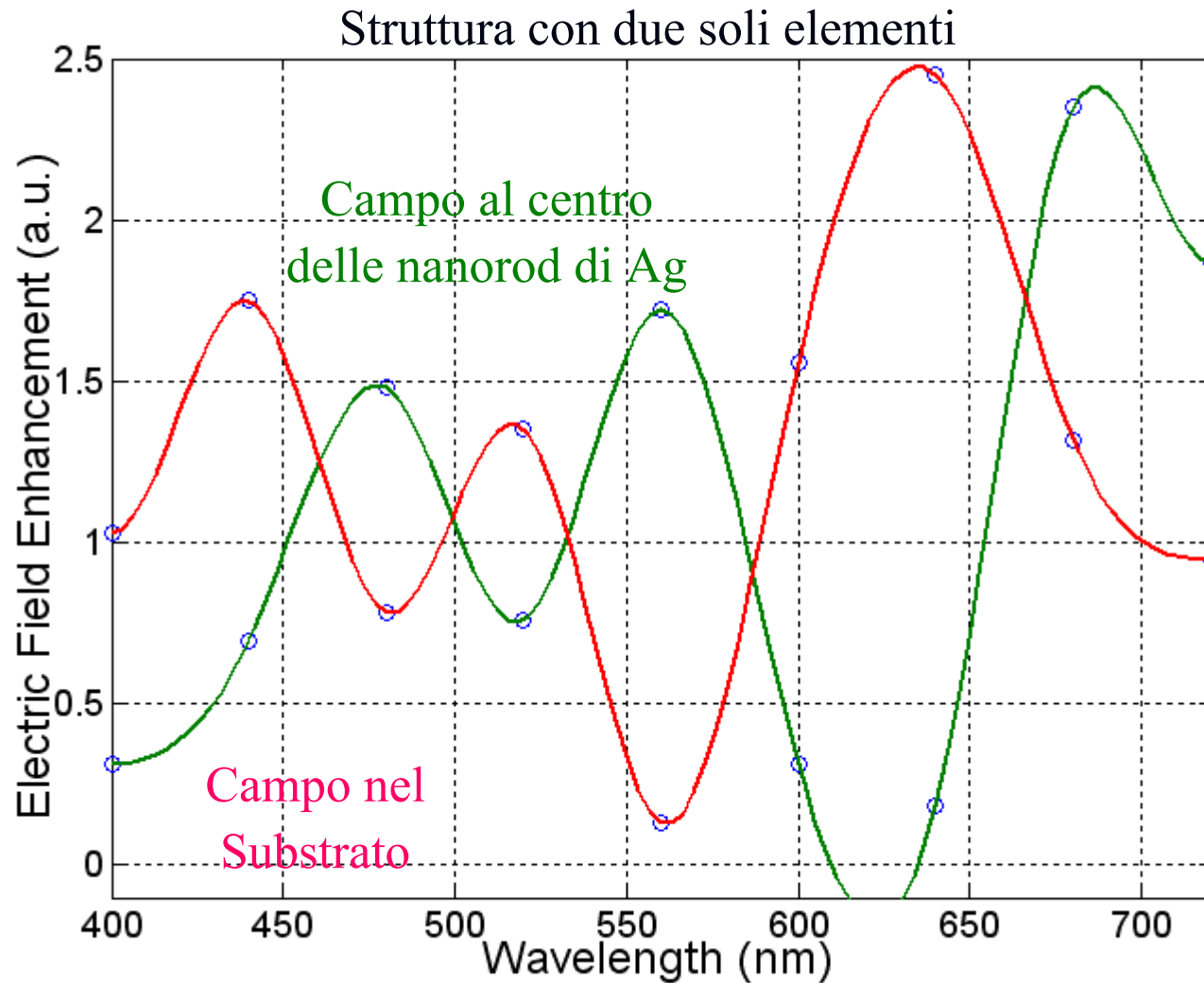
06-0807-3C

10.0kx

Nanostrutture plasmoniche



Nanostrutture plasmoniche



Ottimizzazione delle nanostrutture plasmoniche

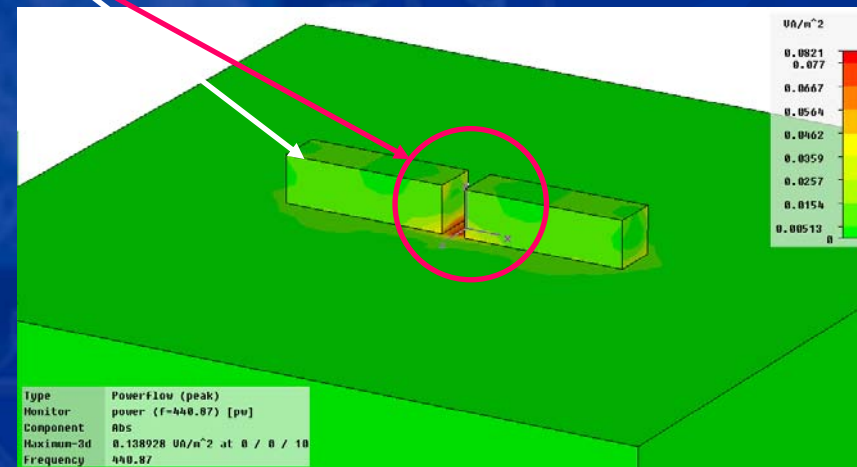
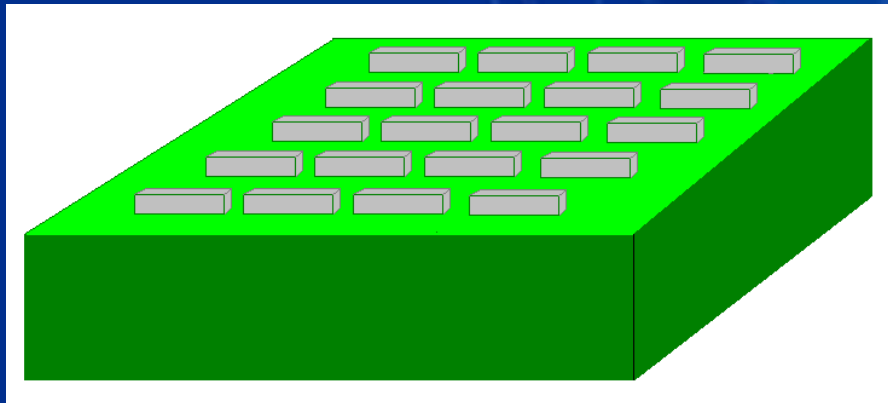
Parametri geometrici significativi per il miglioramento della concentrazione del campo e per funzionamento a più larga banda (VIS+NIR):

Distanza tra i nanorod (**GAP**)

Lunghezza e spessore dei nanorod ($L \times S \times d$)

Geometria

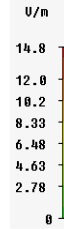
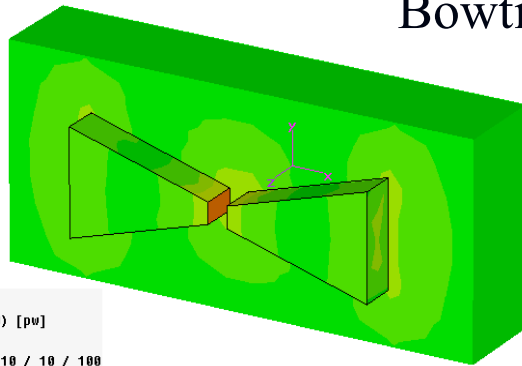
Composizione di Array



Campo 10 volte più elevato

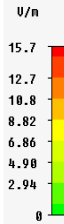
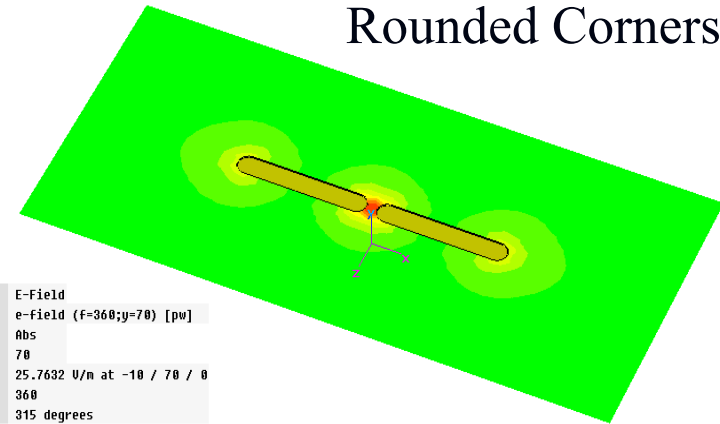
Altre geometrie

Bowtie



Type	E-Field (peak)
Monitor	e-field (f=360) [pw]
Component	Abs
Maximum-3d	16.453 U/n at 10 / 10 / 100
Frequency	360
Phase	0 degrees

Rounded Corners



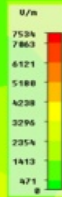
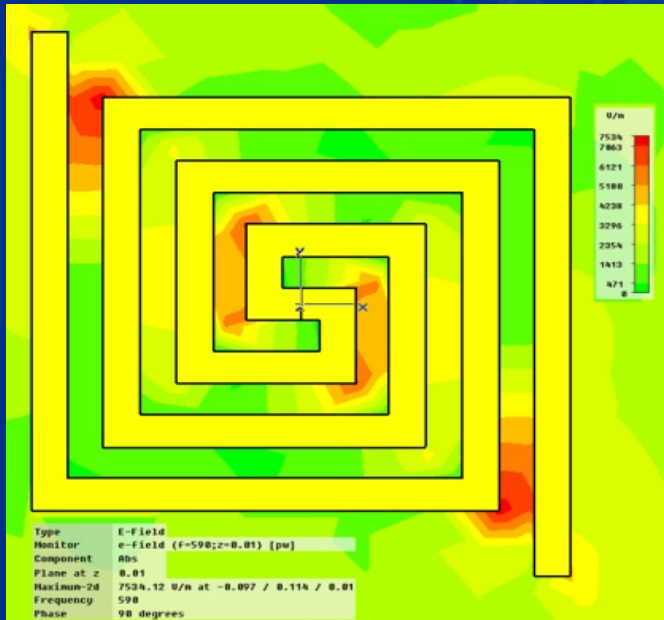
Type	E-Field
Monitor	e-field (f=360;y=70) [pw]
Component	Abs
Plane at y	70
Maximum-2d	25.7632 U/n at -10 / 70 / 0
Frequency	360
Phase	315 degrees

Spirali

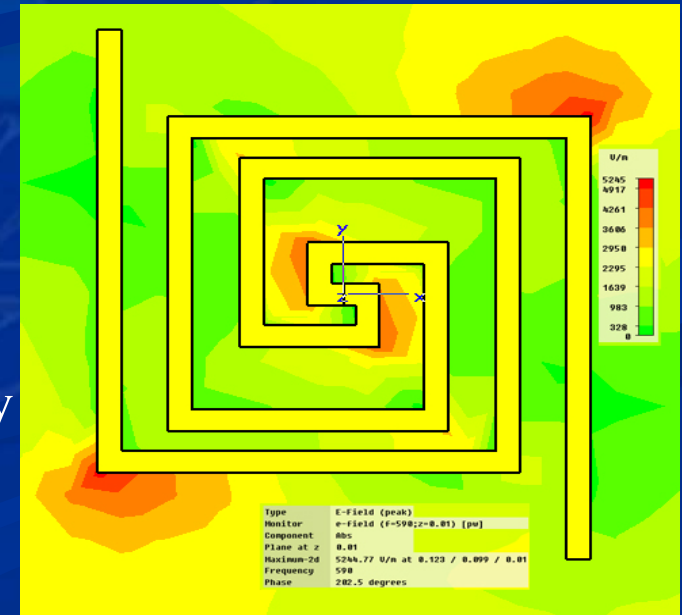
self-complementary



non self-complementary



Type	E-Field
Monitor	e-field (f=590;z=0.01) [pw]
Component	Abs
Plane at z	0.01
Maximum-2d	7534.12 U/n at -0.097 / 0.114 / 0.01
Frequency	598
Phase	90 degrees



Type	E-Field (peak)
Monitor	e-field (f=590;z=0.01) [pw]
Component	Abs
Plane at z	0.01
Maximum-2d	5244.77 U/n at 0.123 / 0.099 / 0.01
Frequency	598
Phase	282.5 degrees

Impatto sull'attuale tecnologia

- ✓ Un sensibile aumento della tensione di corto circuito che determina un aumento dell'efficienza (stimato intorno 20% per la singola cella)
- ✓ Costi di fabbricazione delle nanostrutture:
 - ✓ La tecnologia per la fabbricazione delle strutture metalliche è accessibile e consolidata, anche se al momento non a basso costo (litografia a fascio elettronico)
 - ✓ sono prese in considerazione tecnologie più economiche (nanoimprinting)
- ✓ Ricaduta economica sul costo della cella a film sottile:
 - ✓ intorno al 30% rispetto al costo attuale, si passa da $\sim 1.50\$/Wp$ a $\sim 2\$/Wp$ tenendo presente l'attuale costo di fabbricazione tramite litografia a fascio elettronico;
- ✓ Riduzione dei costi complessivi a fronte di una sensibile riduzione della superficie dei pannelli fotovoltaici (riduzione dell'ingombro e quindi dell'impatto ambientale)