

CONTROLLO FINE DELLE PROPRIETÀ RADIATIVE DI NANO-ANTENNE ACCOPPIATE

Andrea Locatelli

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DII), Università degli Studi di Brescia
Via Branze 38, 25123, Brescia

Negli ultimi anni la “plasmonica” è stata una delle aree di ricerca che ha attratto maggiore attenzione nel settore delle nanotecnologie. I dispositivi plasmonici sono infatti caratterizzati da proprietà che permettono di combinare le migliori qualità dell'elettronica e della fotonica, vale a dire miniaturizzazione ed elevata velocità di elaborazione dei dati [1]. In questo contesto, le cosiddette “antenne ottiche” (o “nano-antenne”) possono essere definite, in modo analogo a quanto avviene a radiofrequenza (RF), come dispositivi in grado di convertire radiazione propagante in energia localizzata, e viceversa [2]. L'importanza delle nano-antenne deriva dal fatto che esse potranno essere, in prospettiva, le strutture chiave che permetteranno l'integrazione di funzioni elettroniche ed ottiche all'interno dello stesso chip.

La possibilità di effettuare un controllo fine delle proprietà radiative delle nano-antenne è ovviamente una funzione fondamentale per tutte le applicazioni, tuttavia fino ad oggi buona parte dei lavori riportati in letteratura descrivono strutture piuttosto semplici (in particolare i dipoli), e quindi caratterizzate da un diagramma di radiazione omnidirezionale. Solo negli ultimi anni sono apparsi alcuni lavori (numerici e sperimentali) riguardanti l'utilizzo alle frequenze ottiche dell'antenna Yagi-Uda, che è comunemente usata a RF per la ricezione dei segnali TV [3].

Nel 2010, l'attività di ricerca ha trattato l'analisi delle proprietà, in termini di impedenza di ingresso e diagramma di radiazione, di una coppia di nano-antenne alimentate su scala nanometrica mediante una coppia di terminali. Nel caso specifico, le due antenne ottiche sono costituite da barre cilindriche in argento con lunghezza $L=110\text{nm}$ e raggio della sezione circolare pari a $r=5\text{nm}$, mentre lo spessore della regione di alimentazione è $g=3\text{nm}$ (Fig. 1(a)). La struttura è caratterizzata da elevato confinamento del campo elettrico alle interfacce metallo-dielettrico, infatti l'indice efficace del modo plasmonico del cilindro, per frequenze tra 200 e 300 THz (corrispondenti al vicino infrarosso), è compreso tra 4 e 5. Lo studio è stato condotto comparando simulazioni full-wave (sia in ricezione che in trasmissione [4]) effettuate sfruttando il software commerciale agli elementi finiti Comsol Multiphysics con i risultati derivanti dalla risoluzione dell'equazione di Pocklington per dipoli accoppiati [5].

In particolare, è stato dimostrato come la distanza ottima che permette di ottenere radiazione unidirezionale (elevato front-to-back ratio) sia nell'ordine di un ventesimo della lunghezza d'onda (Fig. 1(b)), in netto contrasto con la spaziatura a quarto d'onda che è tipica delle antenne Yagi-Uda a RF [5]. Inoltre, la Fig. 2 evidenzia come uno spostamento ΔD pari a $\lambda/40$ di una delle due nano-antenne permetta di sintonizzare il diagramma di radiazione su scala nanometrica, passando da radiazione omnidirezionale (pannello a) a unidirezionale (pannello b). Infine, è stato analizzato il comportamento dell'impedenza di ingresso della struttura al variare della distanza D tra le nano-antenne. In Fig. 3 vengono riportate resistenza e reattanza di ingresso per il caso $D=40\text{nm}$. Due risonanze possono essere chiaramente identificate nella banda di interesse: in particolare, lo spostamento delle frequenze di risonanza in funzione della distanza D può essere giustificato applicando un semplice modello circuitale basato sull'analisi di una rete bi-porta [5].

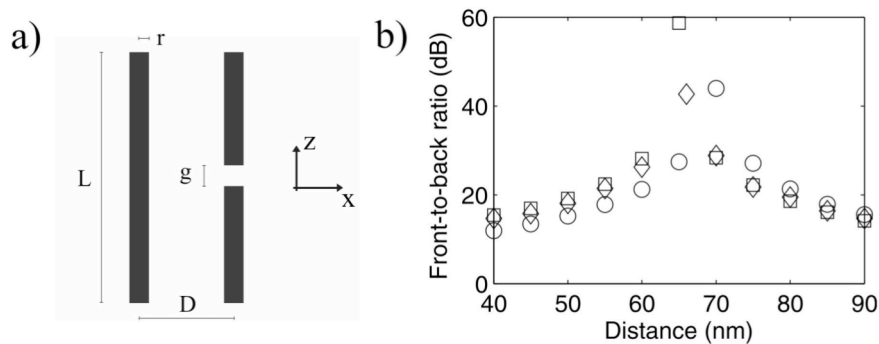


Fig. 1. (a) Visione schematica della coppia di nano-dipoli nel piano x-z. (b) Front-to-back ratio (in decibel) in funzione della distanza D tra le nano-antenne: simulazioni full-wave in ricezione (pallini) e in trasmissione (diamanti), soluzione dell'equazione di Pocklington (quadrati).

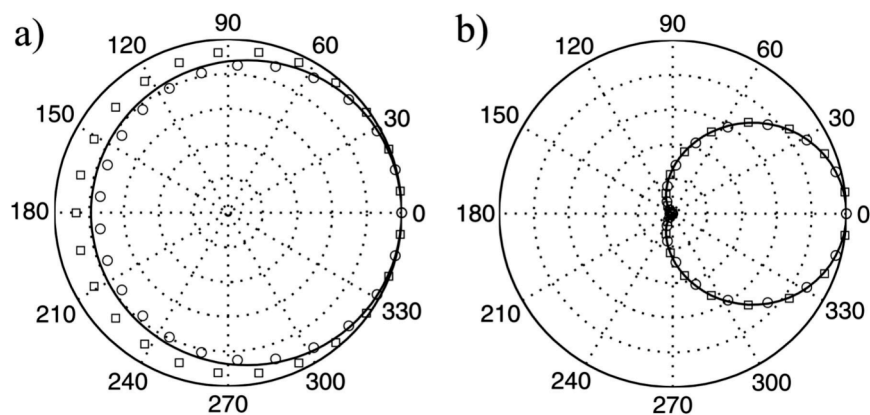


Fig. 2. Diagramma di radiazione (in scala lineare) nel piano x-y alla frequenza di 250THz: simulazioni full-wave in ricezione (linee intere) e in trasmissione (pallini), soluzione dell'equazione di Pocklington (quadrati). (a) $D=40\text{nm}$. (b) $D=70\text{nm}$.

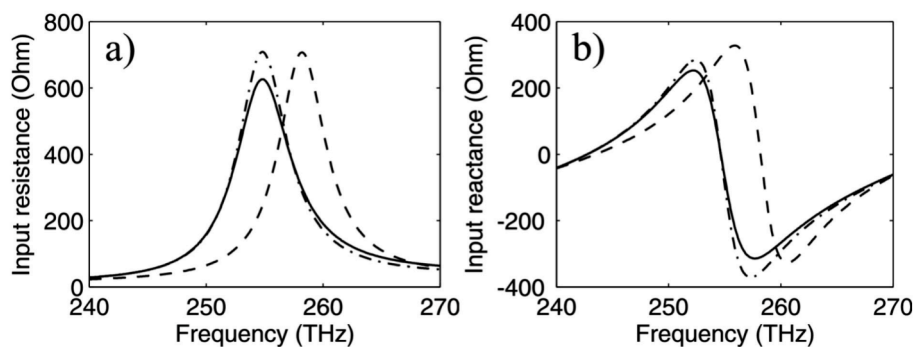


Fig. 3. (a) Resistenza di ingresso. (b) Reattanza di ingresso. Simulazioni full-wave in ricezione (linee trattopunto) e in trasmissione (linee intere), soluzione dell'equazione di Pocklington (linee tratteggiate).

Referenze:

- [1] E. Ozbay, "Plasmonics: Merging photonics and electronics at nanoscale dimensions", *Science* 311, 189 (2006).
- [2] L. Novotny and N. van Hulst, "Antennas for light," *Nature Photon.* 5, 83 (2011).
- [3] G. Lerosey, "Yagi-Uda antenna shines bright," *Nature Photon.* 4, 267 (2010).
- [4] A. Locatelli et al., "Modeling of enhanced field confinement and scattering by optical wire antennas," *Opt. Express* 17, 16792 (2009).
- [5] A. Locatelli et al., "Nanoscale control of the radiation properties of coupled nanoantennas", sottomesso per pubblicazione (2011).