

----- **Scheda di sub-task** -----

TE1.2

Tecnologie optoelettroniche e nanoelettroniche per una conversione ad alta efficienza della energia solare

WP E - Energia e Green Economy

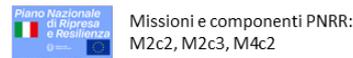
TE1 - Modelli e Tecnologie per Efficientamento Energetico ed Energia Pulita

Contribuisce al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

Agenda ONU 2030



Piano Nazionale per la Ripresa e la Resilienza



La risorsa energetica più potente ed abbondante che abbiamo sulla Terra è una risorsa inesauribile e pulita: il sole. Ad oggi, secondo quanto riportato dal Joint Research Centre (JRC) l'energia fotovoltaica copre solo il 4% dei consumi mondiali, a causa della bassa efficienza dei pannelli fotovoltaici, e del loro costo elevato.

Tuttavia, la luce del sole è formata da onde elettromagnetiche ed è noto da più di 60 anni che si può estrarre energia dalle onde elettromagnetiche attraverso delle "rectenne", dispositivi che comprendono una antenna (per la ricezione delle onde elettromagnetiche) ed un diodo per la conversione di una tensione o corrente alternata in una continua.

Fino a tempi recentissimi, la tecnologia non ha consentito di realizzare diodi funzionanti alle frequenze della luce solare (300 - 3000 THz), e quindi l'idea di estrarre energia dal sole attraverso la rettificazione è rimasta un esercizio accademico più che una reale possibilità. Lo scenario è radicalmente cambiato con lo sviluppo del grafene e di altri materiali bidimensionali, che sembrano avere le potenzialità per permettere la realizzazione di diodi alle frequenze dei THz. Accoppiando diodi in grafene con antenne ottiche si potrebbero realizzare pannelli solari innovativi che, almeno in linea di non hanno limiti fisici di efficienza.

Il presente progetto intende studiare la possibilità di integrare "diodo geometrici" al grafene tra i terminali di "antenne ottiche" ed ottenere così direttamente una tensione (o corrente) continua a partire dalla radiazione solare.

Nello specifico, per "diodo geometrico al grafene" si intende un cristallo di grafene con una conformazione geometrica ad imbuto che favorisca il passaggio degli elettroni in un verso piuttosto che nel verso opposto. L'analisi di una struttura di questo tipo richiede lo studio del trasporto di elettroni sottoposti ad un campo elettrico ad altissima frequenza in strutture bidimensionali planari con dimensioni fisiche molto molto maggiori delle distanze interatomiche degli atomi di carbonio che formano il grafene. Sino ad ora, per mancanza di strumenti analitici e numerici adeguati, questo tipo di analisi non è mai stata proposta nella letteratura internazionale in maniera completa e rigorosa.

Per "antenne ottiche" si intendono strutture metalliche in grado di ricevere la radiazione ottica e di concentrarla tra i terminali dove viene disposto il diodo. Rispetto alle tradizionali antenne utilizzate per la ricezione delle onde radio, le antenne ottiche presentano la peculiarità che il materiale che le costituisce non può essere considerato come un metallo, quanto piuttosto come un dielettrico con permittività complessa. Le caratteristiche di radiazione e ricezione di tali antenne differiscono da quelle delle antenne tradizionali, e richiedono una analisi ad hoc.

Inoltre, per consentire un effettivo incremento dell'efficienza del pannello solare, la ricezione delle antenne deve risultare indipendente dalla direzione di arrivo della luce, dal suo stato di polarizzazione e dalla frequenza nell'intera banda dello spettro solare che si estende da circa 200 a 1000 THz.

Anche nel caso delle antenne, evidenziamo come uno studio completo di un problema così complesso non sia mai stato affrontato nella letteratura internazionale e riteniamo che alcune competenze reperibili nel nostro Dipartimento potrebbero consentire di creare un gruppo di lavoro estremamente qualificato in questo ambito di ricerca, con potenziali ricadute in termini di collaborazioni scientifiche con gruppi internazionali che si occupano di tematiche analoghe, e di trasferimento tecnologico per le aziende del settore.

In particolare, il gruppo dei Proff. Esseni, Palestri e Driussi, coadiuvati dal Dr. Lizzit ha una provata esperienza nella modellistica del trasporto elettronico in materiali bidimensionali, aspetto fondamentale per il progetto di un diodo capace di rettificare la radiazione solare; d'altro canto i proff. Midrio e Boscolo, insieme al Dr. Truccolo, si occupano da anni del design di antenne ottiche, dispositivi essenziali per convogliare la radiazione solare all'interno di un diodo.

Sottolineiamo infine che per progettare le antenne ed ottimizzarne le prestazioni è indispensabile disporre di metodi di calcolo numerico che possano rappresentare in modo preciso le geometrie curve e le proprietà dei materiali con cui saranno realizzate le antenne ottiche a larga banda. Ad oggi, la mancanza di software, anche commerciali, con queste capacità di calcolo è il principale motivo per cui i risultati scientifici sulle prestazioni delle antenne ottiche presenti nella letteratura internazionale sono limitati a pochi casi comprendenti antenne troppo semplici ed inadeguate per gli obiettivi del presente progetto. Anche da questo punto di vista, riteniamo che le competenze disponibili nel nostro dipartimento potrebbero rappresentare un punto qualificante del progetto, ed un significativo avanzamento della conoscenza scientifica nel settore, e delle possibili ricadute pratiche. Infatti, il gruppo dei proff. Trevisan e Specogna ha da tempo sviluppato le competenze necessarie per la modellistica delle antenne attraverso un software per la simulazione elettromagnetica nel dominio del tempo e/o della frequenza basato su griglie non strutturate che permettono di rappresentare in modo accurato anche dispositivi di dimensione nanometrica come quelli che verranno presi in considerazione nel presente progetto.

Per concludere, il presente progetto mira allo sviluppo di un nuovo pannello solare basato su una tecnologia innovativa che richiede lo studio di aspetti scientifici sinora inesplorati che contemperano competenze ben presenti nel nostro Dipartimento, e potrebbero aprire una nuova strada nella generazione di energia fotovoltaica con potenziali ricadute economiche di enorme impatto. Da questo punto di vista, va infatti notato che sia le tecnologie necessarie alla fabbricazione del grafene e delle antenne ottiche sono compatibili con i processi di fabbricazione CMOS dei circuiti integrati. Ciò significa che la produzione di pannelli basati su questa tecnologia potrebbe avvenire secondo una logica di produzione di massa ad un costo sensibilmente inferiore rispetto a quello attuale, e rappresenterebbe quindi una rivoluzione epocale nel mondo dell'estrazione dell'energia solare.

I principali obiettivi che il progetto intende ottenere sono:

- Progetto di un pannello solare stealth, ossia un pannello solare che non rifletta la luce e, invece, la assorba completamente. Tale pannello sarà formato da un array di antenne ottiche in grado di "catturare" tutto lo spettro delle frequenze di radiazione del sole, con una risposta quanto più possibile indipendente dalla direzione di arrivo e dallo stato di polarizzazione della luce stessa;
- Modellistica elettromagnetica nel dominio del tempo dell'antenna mediante tecniche di simulazione avanzate basate su griglie non strutturate per rappresentare in modo accurato le geometrie di un dispositivo reale;
- Sviluppo di un simulatore Monte-Carlo per il trasporto di carica nel diodo di grafene. Questo strumento software innovativo permette di studiare il moto degli elettroni sottoposti ad un campo elettrico ad alte frequenze all'interno del diodo considerando diversi meccanismi responsabili per l'attenuazione del segnale.
- Analisi della giunzione metallo grafene usando metodi atomistici. La natura del contatto elettrico è critica dato che le resistenze serie legate alla giunzione antenna di metallo/diodo di grafene attenuano fortemente il segnale riducendo l'efficienza della conversione di energia. Essendo il grafene composta da un singolo layer di atomi di carbonio, modelli di tipo atomistico sono richiesti per calcolare la resistenza di contatto.