

RELAZIONE: ANTENNA A DIPOLO A 2.4GHz

Partecipanti:	Numero di matricola:
Lorenzo Faraglia	594871
Marco D'Amati	592125
Edoardo Diamanti	591544
Luca Fiore	575332
Manuel Valentini	610949
Alessandro Valentini	607801

Introduzione: le antenne a dipolo rappresentano una delle soluzioni più semplici ed efficaci nel campo delle telecomunicazioni. Il dipolo a mezz'onda viene infatti largamente utilizzato in numerose applicazioni ed è anche un esempio di antenna molto usato per lo studio dei fenomeni di radiazione elettromagnetica.

In questo progetto viene analizzata la progettazione e la simulazione di un'antenna a dipolo operante alla frequenza di 2.4 GHz, banda ampiamente impiegata nei sistemi di comunicazione wireless come il Wi-Fi. L'attività è stata svolta utilizzando il software CST Studio Suite, al fine di progettare e studiare il comportamento dell'antenna valutandone le prestazioni.

Obiettivo: l'obiettivo del progetto era dunque quello di progettare tramite il software di simulazione un'antenna a dipolo in grado di operare con efficienza in prossimità della frequenza di 2.4 GHz, ottenendo quindi un buon adattamento d'impedenza per queste frequenze e un diagramma di radiazione coerente con il comportamento teorico del dipolo a mezz'onda.

Fondamenti teorici utilizzati: un dipolo a mezz'onda presenta nell'idealità una lunghezza teorica " l " pari a metà della lunghezza d'onda " λ " relativa alla frequenza di lavoro " f ":

$$l = \lambda/2 \quad (1)$$

$$\text{con } \lambda = c/f \quad (2)$$

dove " c " è la velocità della luce. Nella realizzazione pratica la lunghezza reale dell'antenna può però differire da quella teorica a causa dei vari effetti di non idealità introdotti dal sistema di alimentazione e dai materiali reali impiegati.

Per descrivere e comprendere il comportamento dell'antenna l'attenzione è rivolta all'analisi del coefficiente di riflessione " S_{11} ", del rapporto d'onda stazionaria "VSWR" (Voltage Standing Wave Ratio) e del diagramma di radiazione in campo lontano. L'adattamento d'impedenza dell'antenna viene valutato tramite il parametro S_{11} e il VSWR; un valore di S_{11} inferiore a

-10 dB per certe frequenze indica un buon adattamento per quelle frequenze, con ridotte perdite di potenza dovute a riflessioni. Correlato al coefficiente di riflessione S_{11} è il VSWR, ovvero il rapporto d'onda stazionaria, che fornisce anch'esso un'indicazione immediata dell'efficienza del trasferimento di potenza tra linea e antenna, con focus più elevato sull'adattamento di impedenza. Per quanto riguarda il diagramma di radiazione di campo lontano, invece, un risultato soddisfacente sarebbe quello di ottenere un diagramma di radiazione il quanto più possibile simile a quello del dipolo ideale.

Progettazione dell'antenna: la fase di progettazione dell'antenna è stata articolata in più passaggi col fine di ottenere un modello il più possibile rappresentativo di un dipolo reale alimentato tramite cavo coassiale. L'approccio generale che si è seguito nel corso della progettazione è stato quello di partire da una struttura più semplice e vicina all'idealità, per poi ampliare e particolarizzare la struttura per avvicinarla a quella reale di un cavo coassiale.

Inizialmente è stato realizzato il conduttore interno in rame, avente lunghezza " l " e forma cilindrica, che costituisce l'elemento radiante dell'antenna. Successivamente sono stati modellati gli strati concentrici esterni al conduttore centrale riproducendo la struttura del cavo coassiale mediante l'inserimento del dielettrico, della guaina metallica e della copertura isolante in PVC. Per il dimensionamento dei vari parametri del cavo coassiale, come la scelta dei materiali o la lunghezza dei raggi, è stato usato come base un cavo reale scelto tra le varie opzioni disponibili sul mercato: l'RG-58. Tale cavo è stato scelto in quanto si è ritenuto che, nell'ottica di realizzare fisicamente l'antenna, esso rappresenti un buon compromesso tra le varie esigenze in gioco, come una bassa attenuazione, un buon trasferimento di potenza, una facile reperibilità sul mercato con adeguato costo economico, nonché una relativamente comoda maneggiabilità per le varie operazioni di tagli e collegamenti che dovranno essere realizzate.

Per consentire l'alimentazione del dipolo è stato introdotto un gap centrale, ottenuto sottraendo un volume cilindrico d'aria, con lunghezza pari al gap e raggio pari allo spessore più esterno del cavo, nella zona mediana della struttura. In corrispondenza di tale interruzione è stato mantenuto il collegamento del conduttore centrale, permettendo così la separazione dei due bracci del dipolo.

Successivamente viene creato un collegamento elettrico tra il conduttore e la guaina metallica, utilizzando un filamento in rame, che assicura la continuità elettrica del circuito.

Infine è stata inserita una rete di alimentazione, necessaria per simulare correttamente una sorgente di tensione alternata e garantire che tale alimentazione sia bilanciata tra $-V/2$ e $+V/2$, evitando la presenza di correnti parassite.

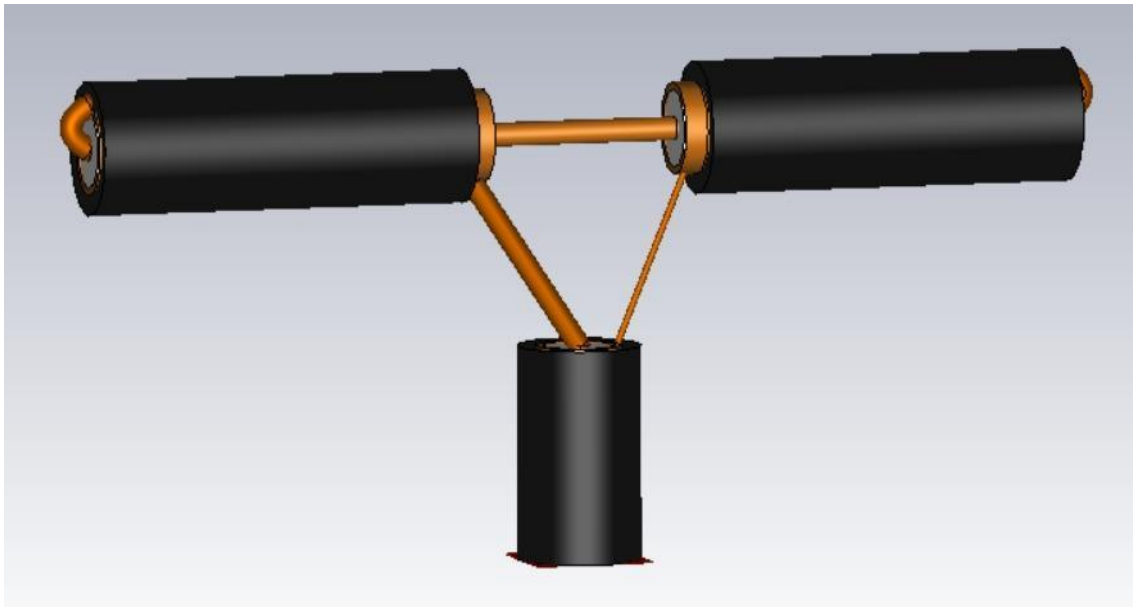


Figura 1: realizzazione finale dell'antenna

Nonostante il tentativo sia stato quello di simulare la struttura dell'antenna reale il più fedelmente possibile, bisogna comunque evidenziare come in alcuni dettagli si è optato per mantenere sul modello alcune caratteristiche dell'antenna ideale a favore di una più agevole facilità di simulazione. Ovviamente, queste piccole differenze tra il modello simulato e il modello reale che si andrà poi a realizzare, possono dar luogo ad alcune differenze tra i risultati ottenuti con la simulazione e il funzionamento finale dell'antenna reale; bisognerà dunque tener conto di queste considerazioni nel valutare il funzionamento dell'antenna reale. Il grado di fedeltà della simulazione realizzata, nonostante le eventuali imperfezioni, si ritiene comunque buono quantomeno per una comprensione qualitativa del funzionamento dell'antenna. Le appena citate differenze tra il modello simulato e quello reale riguardano ad esempio la modalità di realizzazione dei vari contatti:

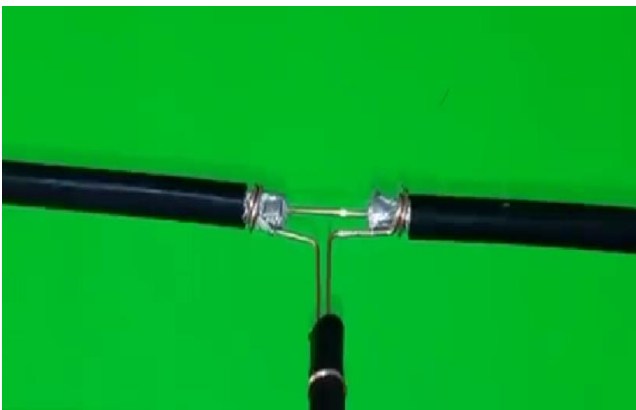


Figura 2: realizzazione dei contatti nel caso reale



Figura 3: realizzazione dei contatti sul modello

I contatti, come si può notare nelle immagini, sono realizzati in maniera più idealizzata sul modello di simulazione mentre nella realtà vengono realizzati in una maniera fisicamente diversa, con degli avvolgimenti per assicurare il collegamento elettrico.

Criteri di simulazione: come detto, il dimensionamento dell'antenna è stato condotto partendo dalla lunghezza teorica del dipolo a mezz'onda calcolata per la frequenza di 2.4 GHz e poi migliorato osservando i risultati delle varie simulazioni.

Dopo aver fissato dei valori di lunghezza per gap e alimentazione (entrambi 8mm), si è proceduto a simulare variando parametricamente la lunghezza dei bracci dell'antenna fino ad ottenere il comportamento desiderato.

Il criterio di ottimizzazione è stato quello di cercare di ottenere il minimo del parametro S11 in prossimità della frequenza richiesta, mantenendo al contempo un comportamento radiativo coerente con quello teorico del dipolo.

Per la simulazione sul software CST si è prediletta l'analisi dei risultati nel dominio della frequenza con l'opzione di adattamento di mesh; nonostante infatti la soluzione del problema elettromagnetico sia unica, il risultato di più simulazioni dello stesso problema effettuate in diversi domini può differire a causa delle diverse tecniche di simulazione implementate dal software nei vari domini. Il dominio della frequenza è risultato più efficace grazie alla configurazione e tipologia delle mesh tetraedriche da essa utilizzate, ritenute più adatte alla tipologia e alla geometria del problema.

Presentazione e discussione dei risultati.

Analisi coefficiente di riflessione.

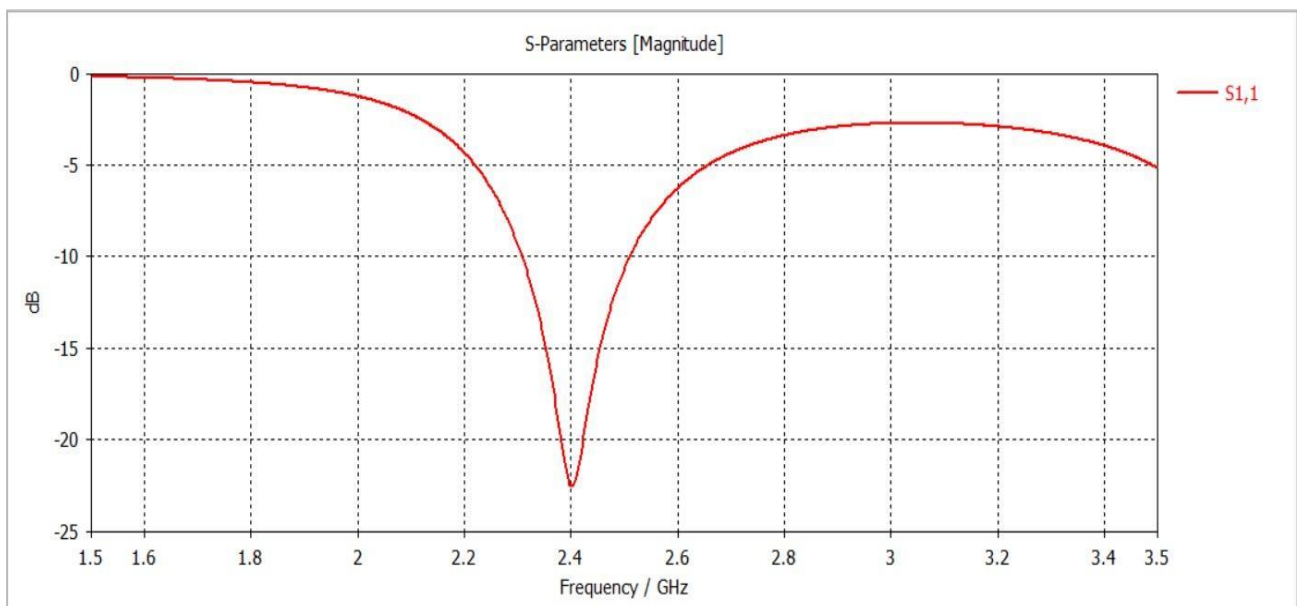


Figura 4: coefficiente di riflessione.

L'andamento del coefficiente di riflessione mostra un minimo pronunciato in corrispondenza della frequenza di 2.4 GHz, con un valore pari a circa -22.55 dB. Questo risultato indica un ottimo adattamento d'impedenza tra l'antenna e la linea di alimentazione, con una potenza riflessa estremamente ridotta.

La banda operativa, definita considerando la soglia di -10 dB, si estende approssimativamente da 2.31 GHz a 2.51 GHz, risultando adeguata per applicazioni nella banda ISM. La presenza del minimo di S11 esattamente in prossimità della frequenza di progetto conferma la corretta scelta delle dimensioni dell'antenna.

Analisi del diagramma di radiazione.

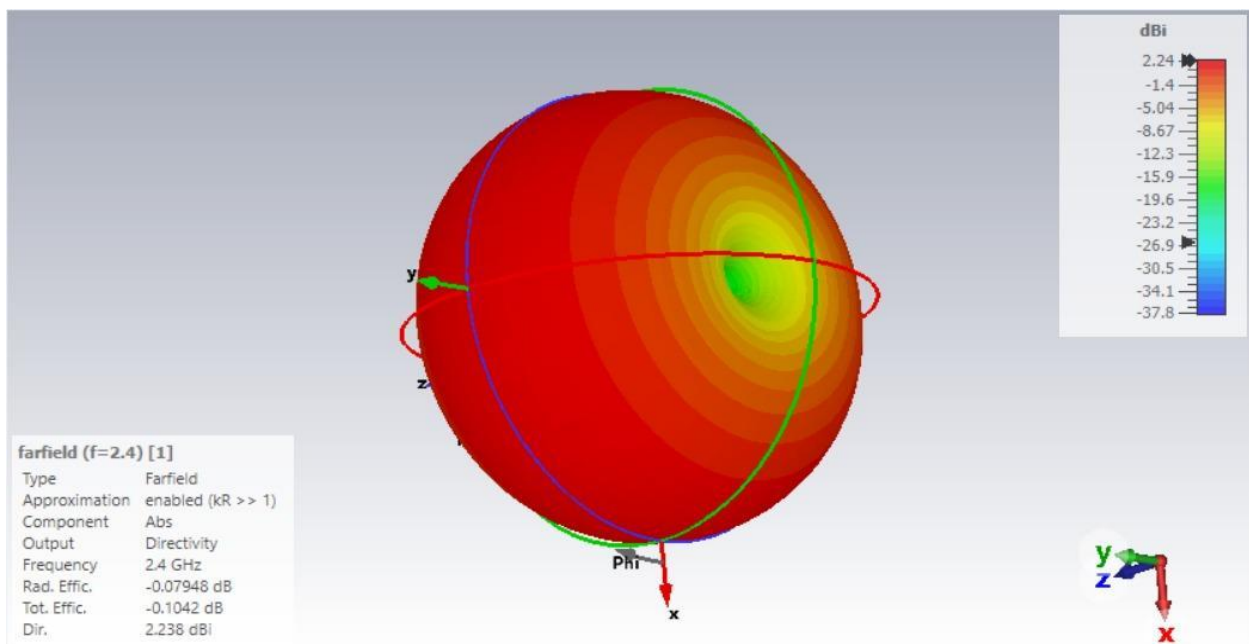


Figura 5: diagramma di radiazione.

Il diagramma di radiazione in campo lontano evidenzia una distribuzione del campo elettromagnetico coerente con il comportamento teorico di un dipolo a mezz'onda. La radiazione risulta massima sul piano perpendicolare all'asse dell'antenna. Questo andamento indica una buona simmetria del pattern di radiazione e un'efficiente capacità radiante dell'antenna.

La direttività massima ottenuta è pari a circa 2.23 dB, valore tipico per un dipolo in campo libero, radiante con un comportamento quasi omnidirezionale lungo il piano perpendicolare ai conduttori del dipolo.

Il pattern di radiazione risulta simmetrico rispetto al piano xy.

Analisi del Rapporto d'onda stazionaria (VSWR)

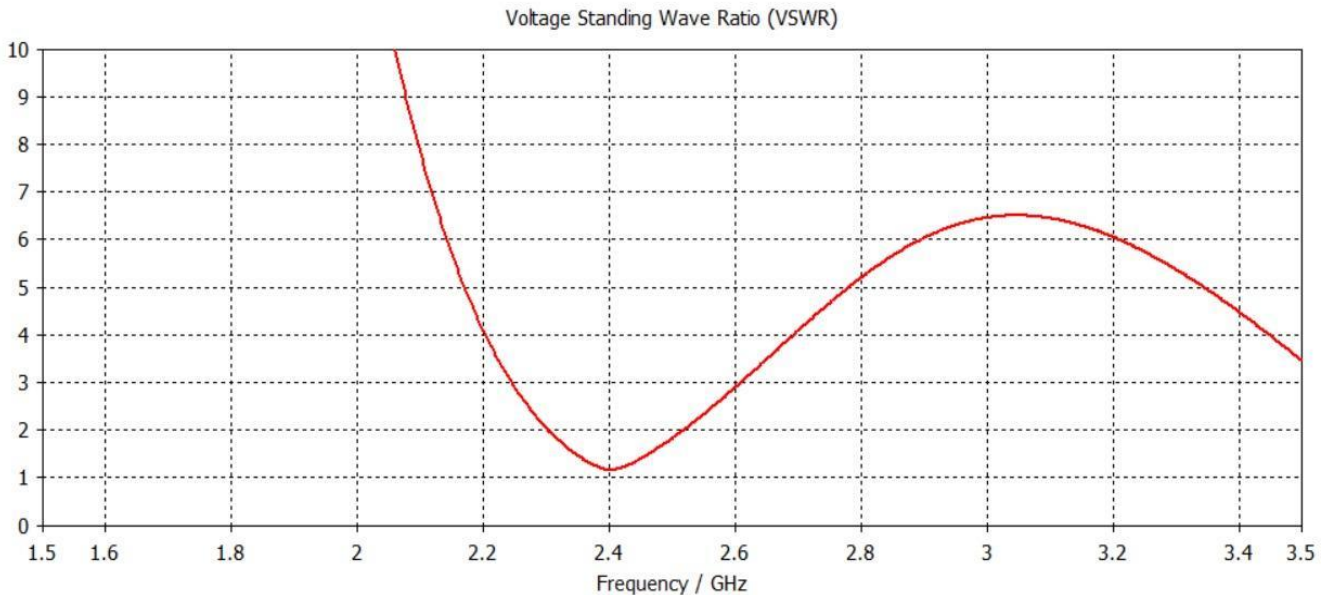


Figura 6: rapporto d'onda stazionaria.

Il grafico del rapporto di onda stazionaria (VSWR) mostra l'andamento dell'adattamento dell'antenna in funzione della frequenza, con riferimento alla regione intorno ai 2.4 GHz. Il comportamento osservato conferma una buona efficienza del sistema di alimentazione in prossimità della frequenza di progetto.

Si nota un valore minimo del VSWR localizzato in prossimità della frequenza di 2.4 GHz. Tale minimo rappresenta il punto di miglior adattamento d'impedenza tra antenna e linea di alimentazione, garantendo il massimo trasferimento di potenza.

Inoltre il valore minimo del VSWR risulta essere leggermente superiore a 1, indicando un adattamento molto buono, vicino al valore unitario, ovvero il valore che si avrebbe nell'idealità per un adattamento perfetto.

Infine si nota come allontanandosi dalla frequenza centrale il VSWR tende ad aumentare. Ciò comporta un peggioramento dell'efficienza di trasferimento di potenza per le frequenze lontane da quelle di interesse, con un incremento delle riflessioni sulla linea.

Discussione dei risultati: i risultati ottenuti dalle simulazioni risultano coerenti con il comportamento teorico del dipolo a mezz'onda e, quindi, con il comportamento desiderato. La banda operativa risulta relativamente limitata, come previsto per questa tipologia di antenna, ma risulta adeguata per applicazioni nella banda ISM a 2.4 GHz. Eventuali miglioramenti potrebbero essere ottenuti tramite l'adozione di geometrie alternative o di reti di adattamento d'impedenza.

Conclusioni finali: in questo progetto è stata progettata e simulata un'antenna a dipolo operante alla frequenza di 2.4 GHz.

I risultati ottenuti mostrano un buon adattamento d'impedenza, basse perdite riflesse e un diagramma di radiazione conforme alle aspettative teoriche.

L'attività ha permesso di consolidare i concetti teorici relativi alle antenne e di comprenderne il comportamento attraverso simulazioni elettromagnetiche.