“Circuiti a Microonde per le Telecomunicazioni”

Corso di laurea triennale in Ingegneria informatica

Samuele Iorio
Università della Calabria
a.a.2019-2020

“CIRCUITI A MICROONDE PER LE TELECOMUNICAZIONI”

INTRODUZIONE

In questo corso ci siamo occupati di microonde. Le microonde sono radiazioni elettromagnetiche con lunghezza d’onda compresa tra le gamme superiori delle onde radio e la radiazione infrarossa. La predizione dell’esistenza delle onde elettromagnetiche, di cui le microonde fanno parte, è dovuta a James **Clerk Maxwell** con le sue equazioni del 1864. La dimostrazione dell’esistenza avvenne nel 1888 grazie a Heinrich Rudolf Hertz che studiò le onde radio.

Furono molti i fisici che, con le loro ricerche, hanno contribuito allo sviluppo delle moderne applicazioni delle microonde tra cui: G. Marconi e S. Morse.

La denominazione “microonde” fu coniata nel 1932 da Nello Carrara, fisico italiano.

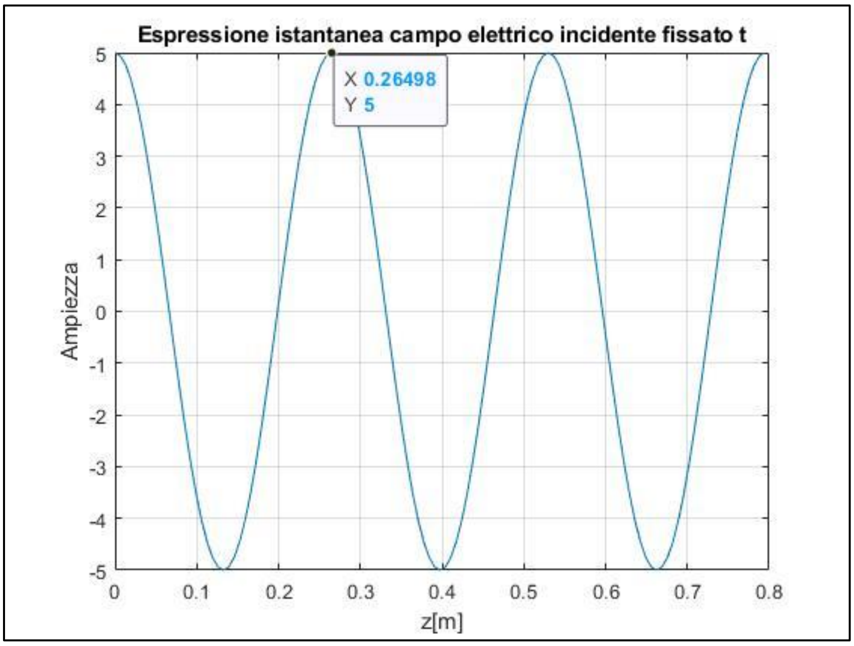
Le microonde sono comprese nelle lunghezze d’onda tra 10 cm (circa 3 GHz) e 1 mm (circa 300 GHz). Solitamente lo spettro delle microonde è definito nell’intervallo compreso tra 1 GHz e 1000 GHz (la maggior parte delle applicazioni lavorano tra 1 e 40 GHz).

Alcuni utilizzi:

- PONTI RADIO: cioè la trasmissione tra antenne paraboliche terrestri a distanze fino a centinaia di Km, disegnali analogici (tv) o digitali (freq. tra 2 e 80 GHz);
- TELEFONI CELLULARI: operano alla frequenza di 1,8 GHz per comunicare con le stazioni radio base (GSM);
- SATELLITI: comunicazioni con i satelliti
- PROTOCOLLI: bluetooth, IEEE 802.11
- RADAR
- FORNO MICROONDE: frequenza di circa 2,45 GHz

Campo elettrico incidente, trasmesso e riflesso.

APPENDICE A – CODICE



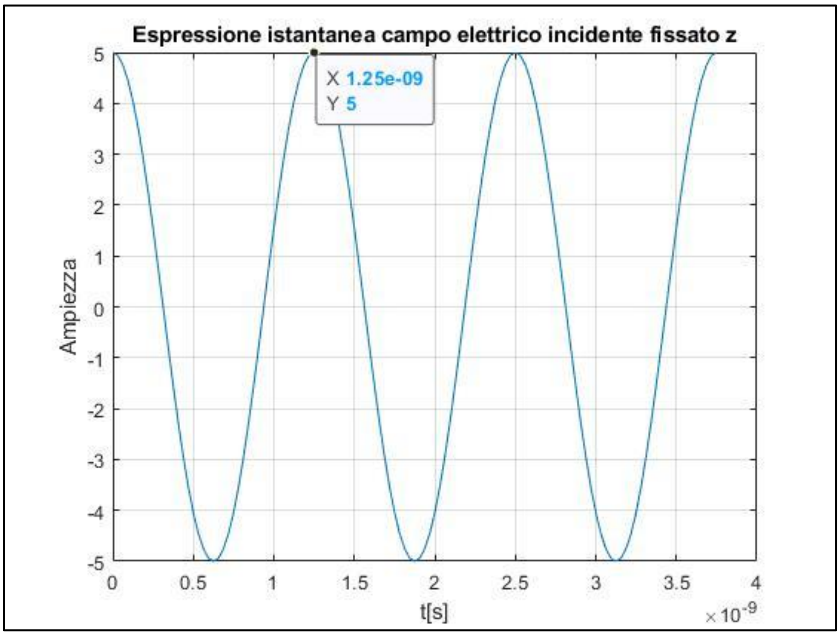
La (figure 1) mostra l'espressione istantanea del campo elettrico incidente, fissato il tempo, facendo variare lo spazio.

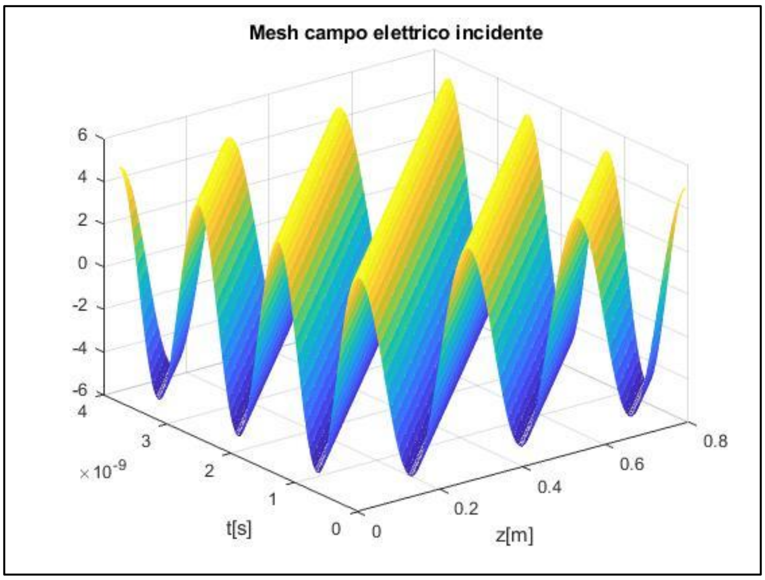
Il periodo spaziale è proprio pari alla nostra **lunghezza d'onda** $\lambda = \frac{V_p}{f}$.

(figure 1)

La *figure(2)* mostra l'espressione istantanea del campo elettrico incidente, fissato lo spazio z, tempo variante. La funzione è periodica, con **periodo** $T = \frac{1}{f}$.

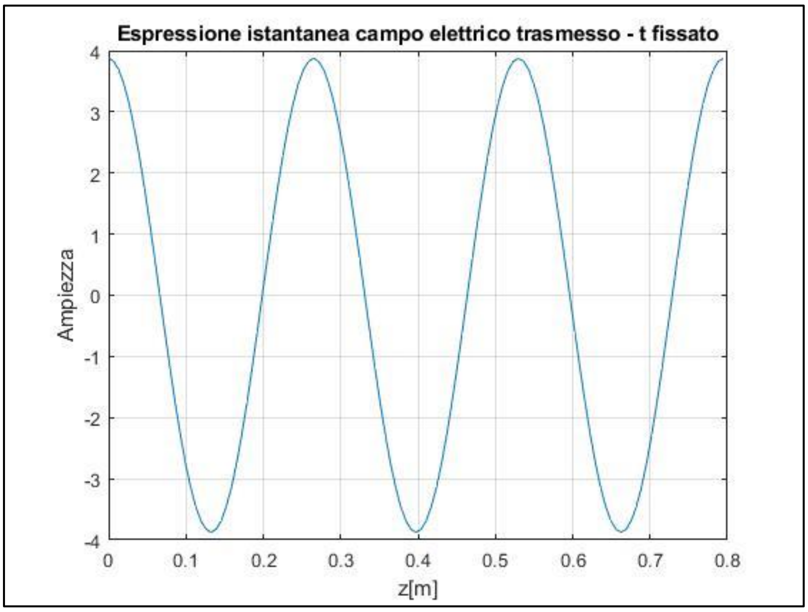
(figure 2)





La *figure(3)* mostra il mesh del campo elettrico incidente: `mesh(z,t,e_i)` In generale mesh (X, Y, Z) crea un grafico, che è una superficie tridimensionale colorata. La funzione traccia i valori nella matrice Z come altezze sopra una griglia nel piano x-y definito da X e Y.

(figure 3)



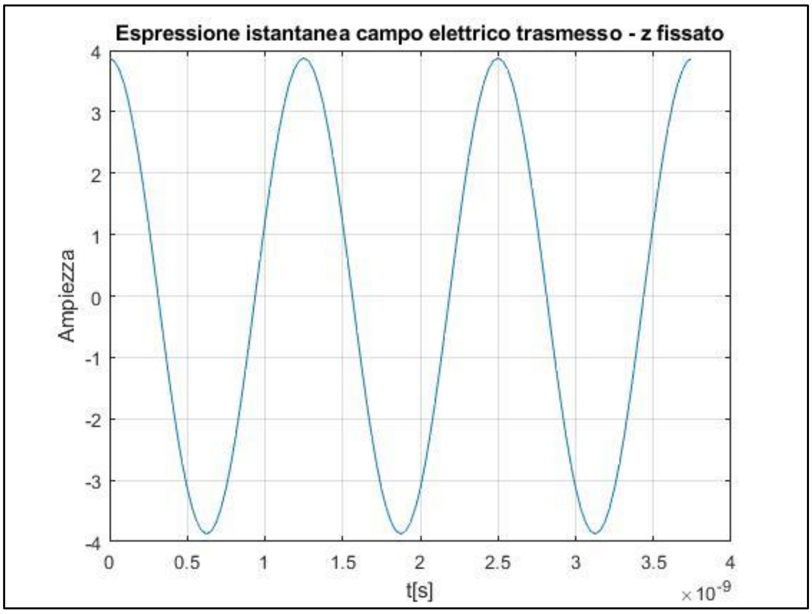
La *figure(4)* mostra l'espressione istantanea del campo elettrico trasmesso con la variabile temporale fissata.

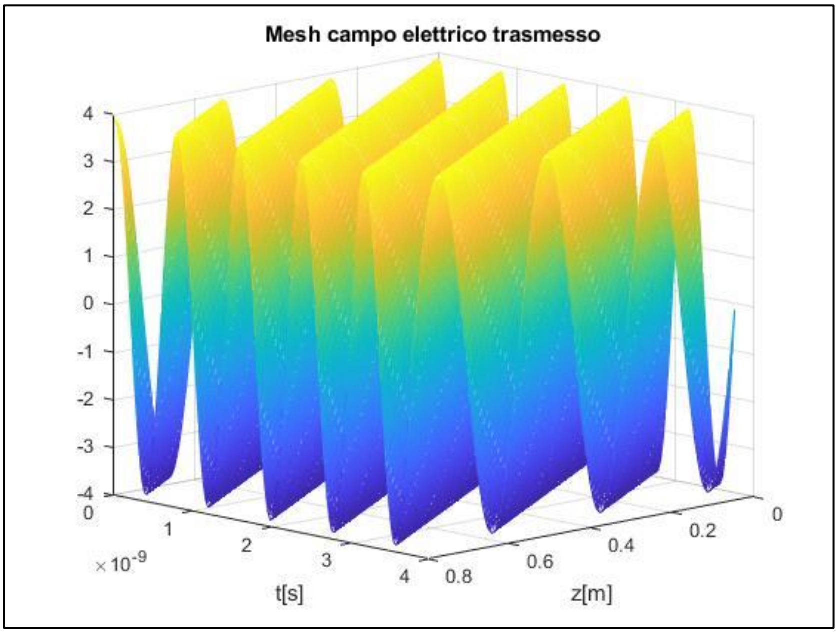
Come notiamo l'ampiezza di tale onda è leggermente inferiore all'ampiezza dell'onda incidente.

(figure 4)

La *figure(5)* mostra l'espressione instantanea del campo elettrico trasmesso, con la variabile spaziale fissata.

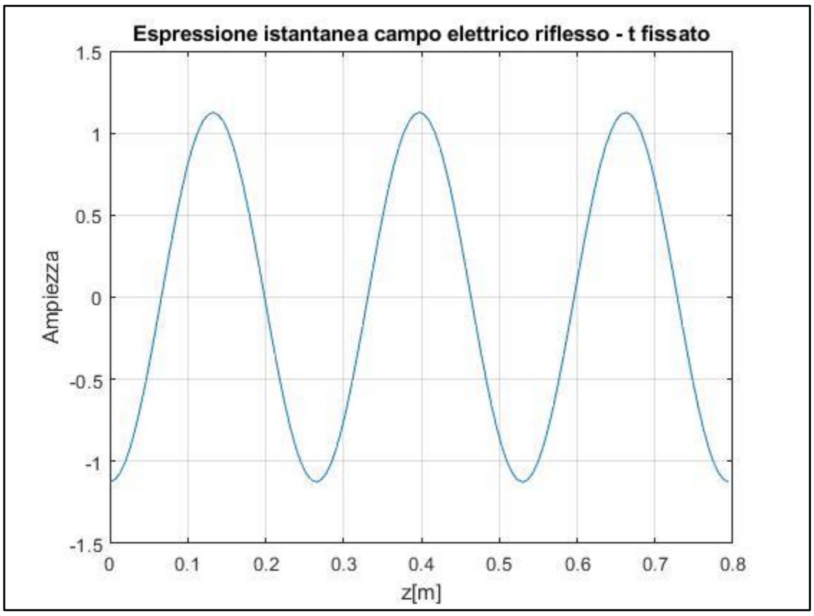
(figure 5)





La *figure(6)* mostra il mesh plot del campo elettrico trasmesso.

(figure 6)



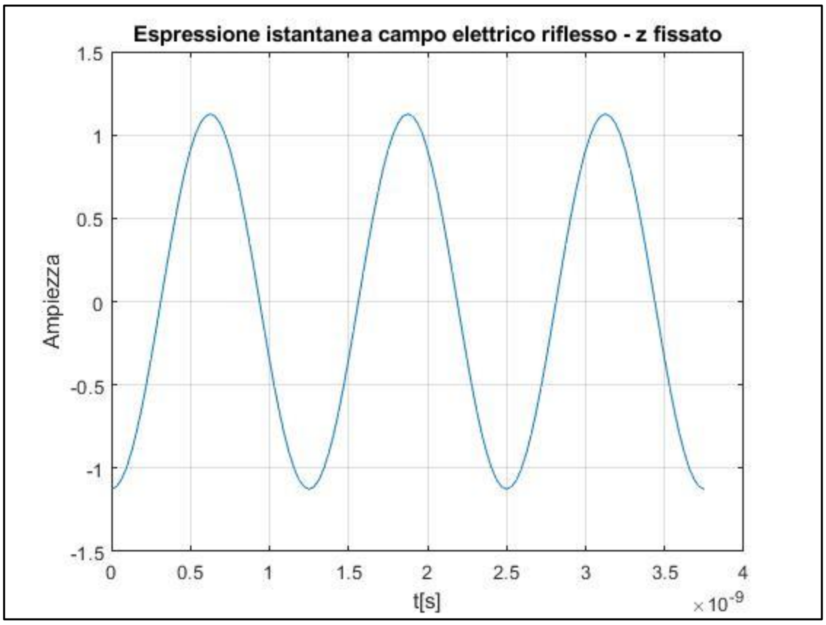
La *figure(7)* mostra l’espressione istantanea del campo elettrico riflesso, con la variabile temporale fissata.

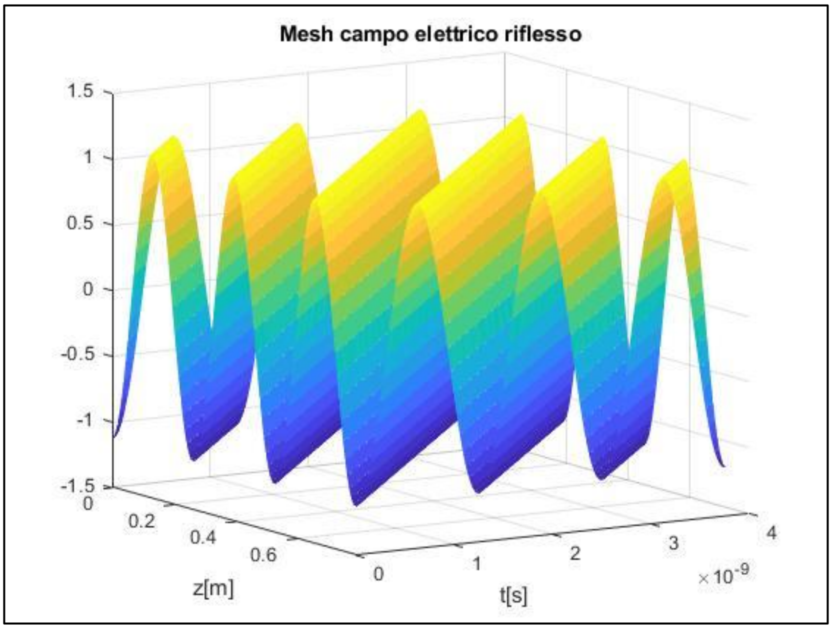
Come notiamo l’ampiezza dell’onda è minore rispetto all’ampiezza dell’onda del campo elettrico incidente.

(figure 7)

La *figure(8)* mostra l’espressione istantanea del campo elettrico riflesso con la variabile spaziale fissata.

(figure 8)



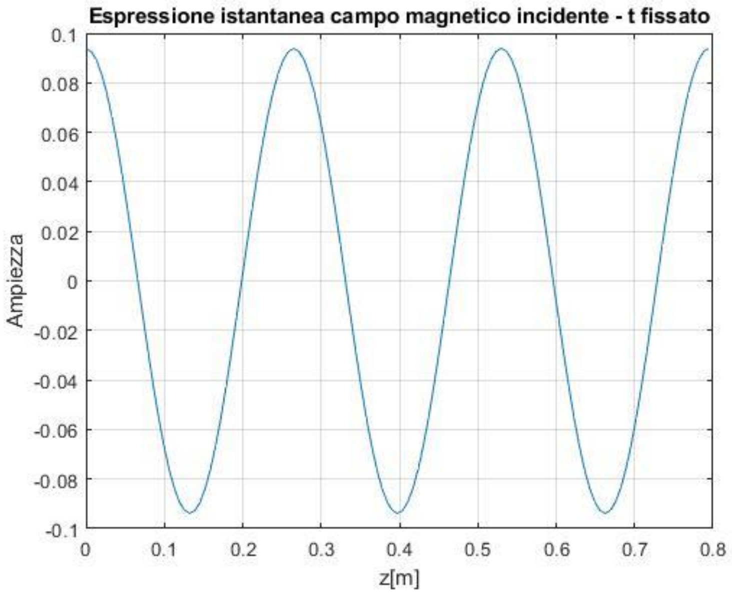


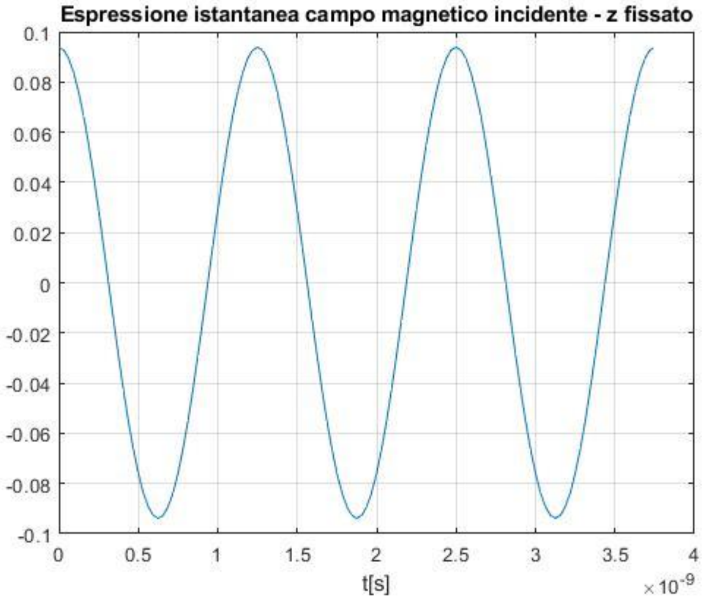
La *figure (9)* mostra il mesh plot del campo elettrico riflesso.

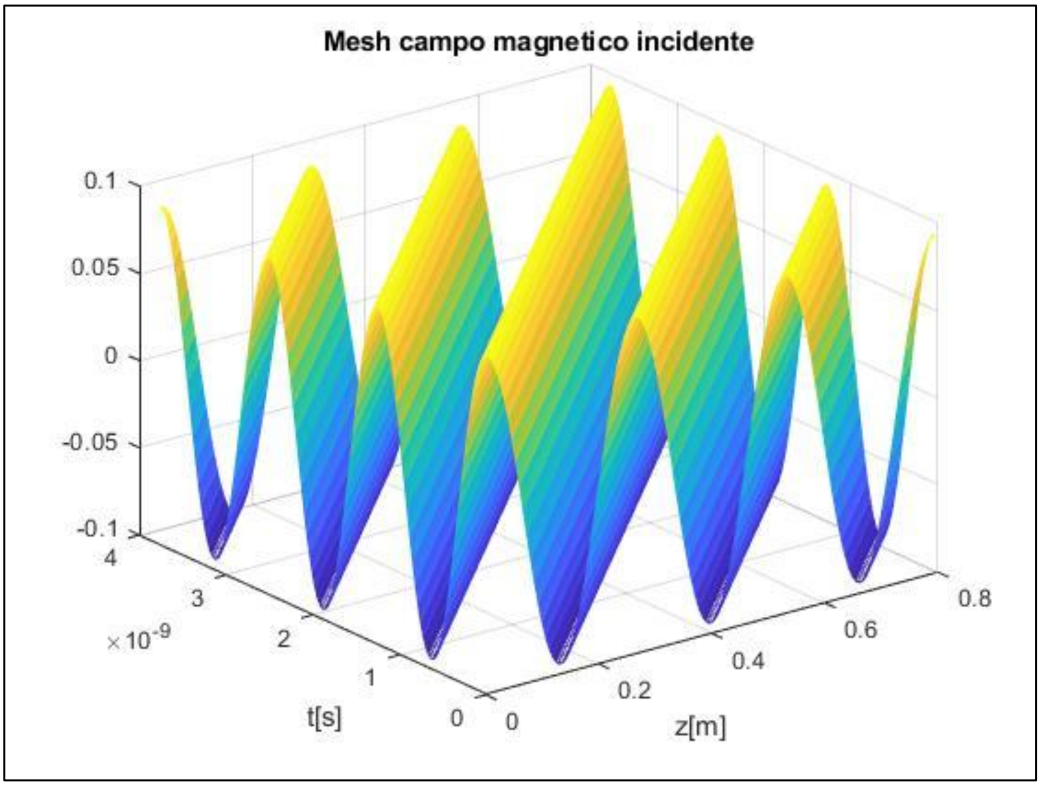
(figure 9)

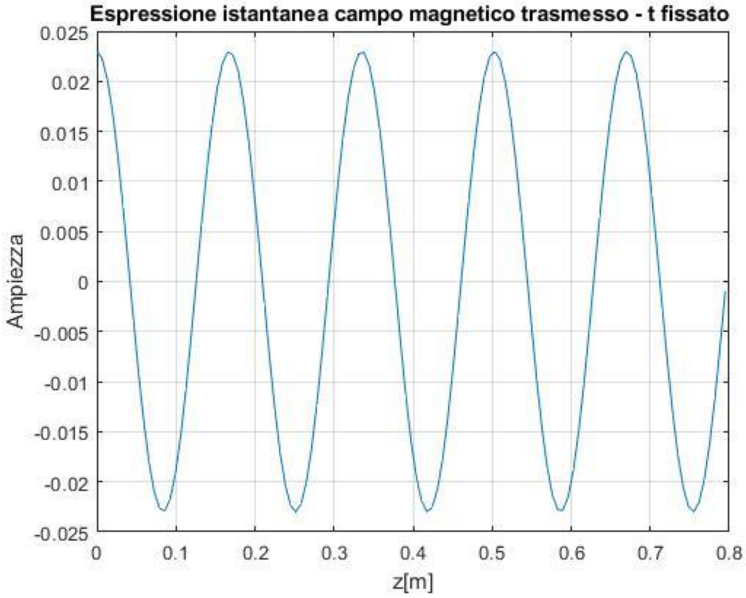
Campo magnetico incidente, trasmesso e riflesso.

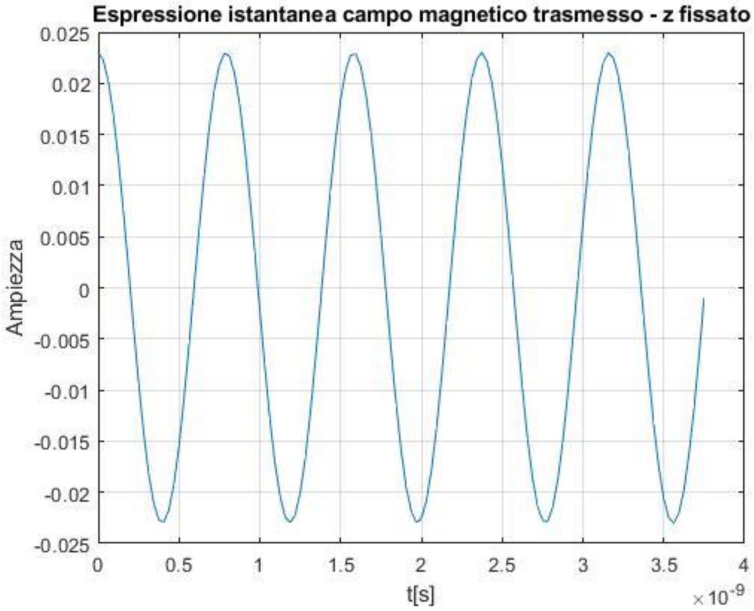
APPENDICE B – CODICE

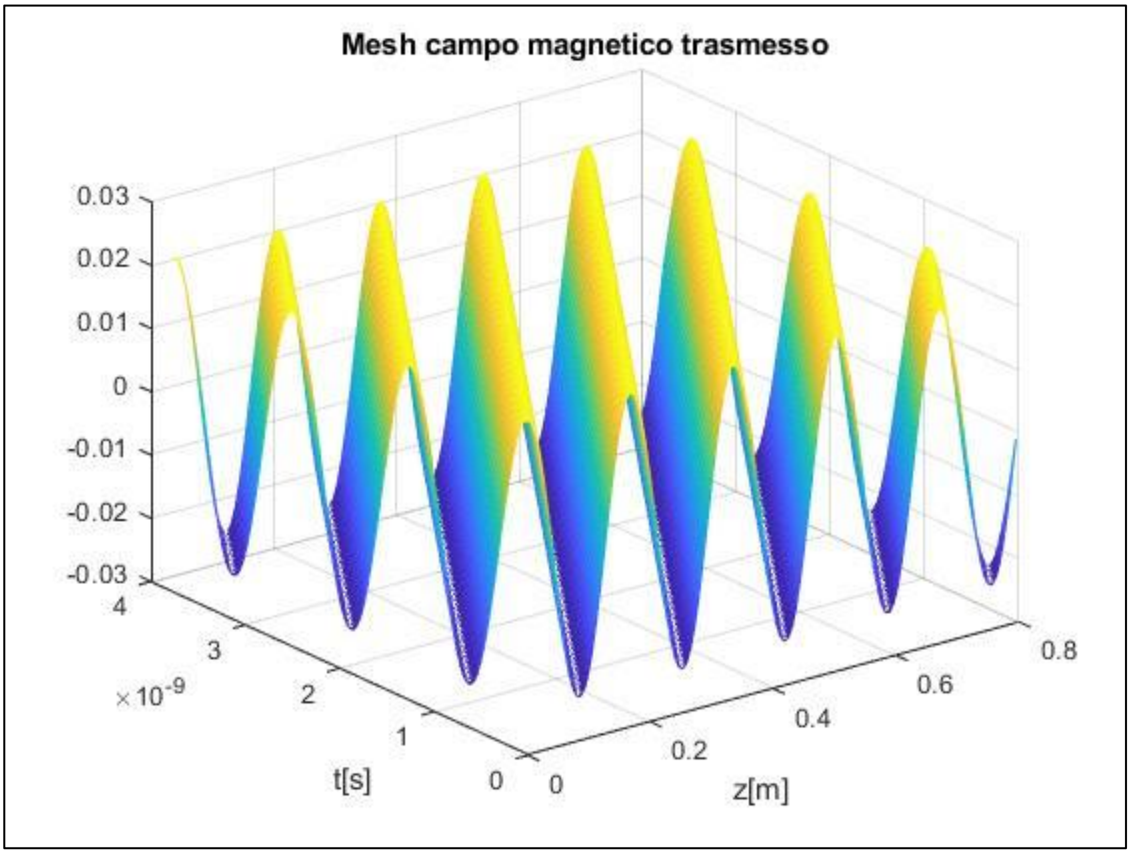


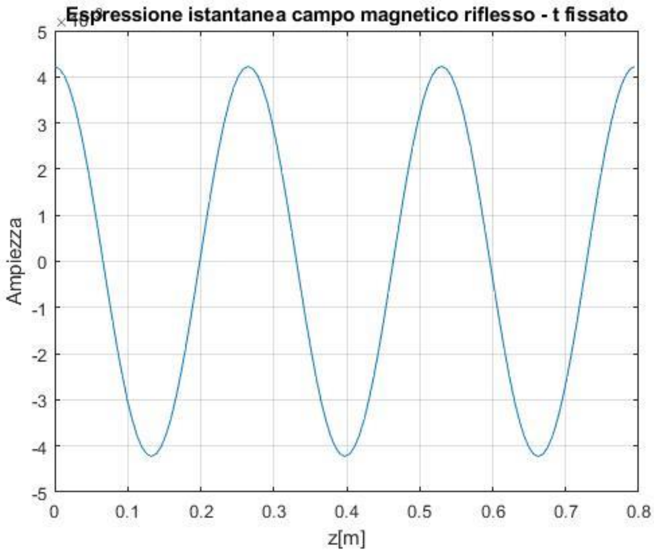


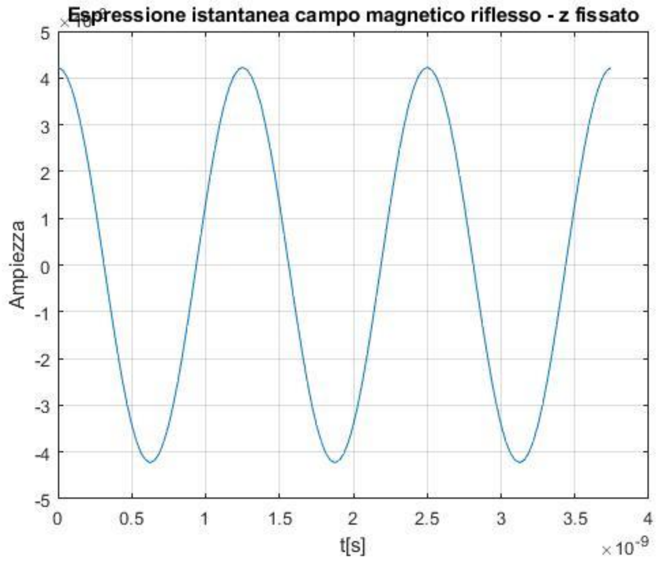


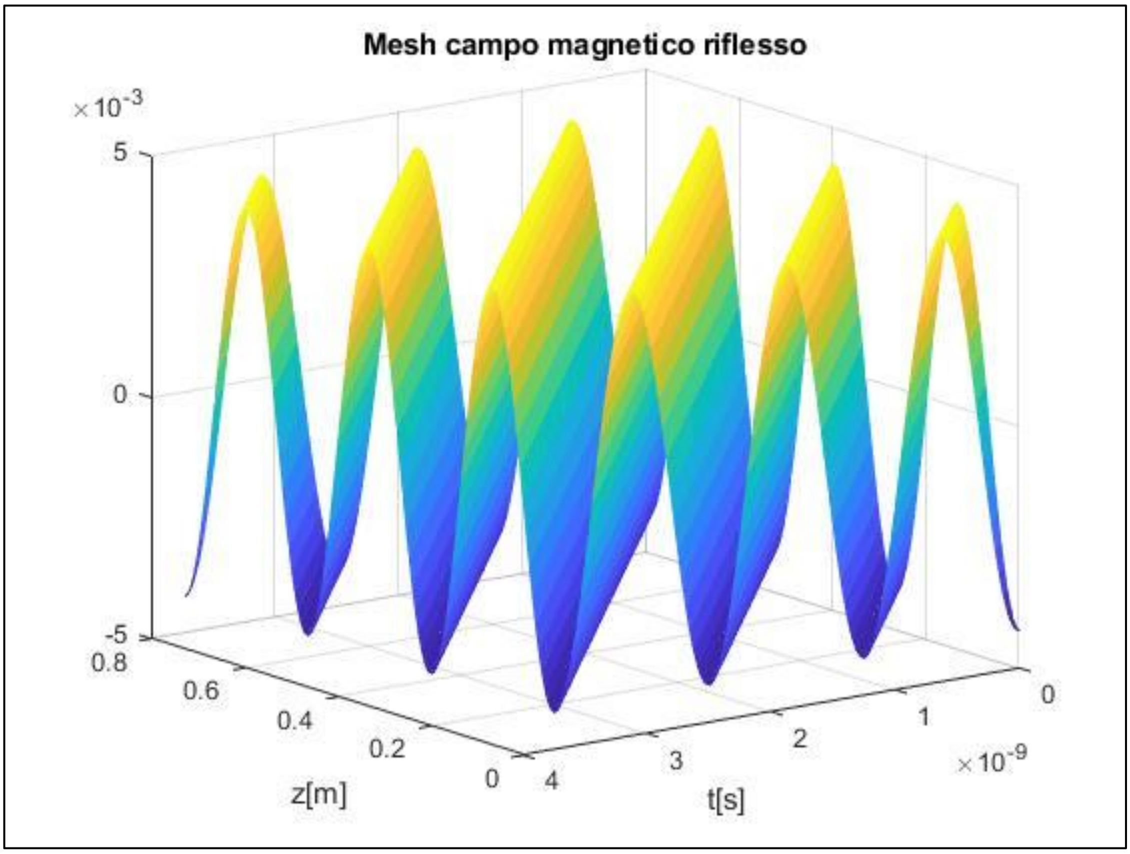

Espressione istantanea campo magnetico trasmesso - t fissato
Ampiezza
z[m]
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8


Espressione istantanea campo magnetico trasmesso - z fissato
Ampiezza
t[s]
× 10-9
0.025
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
-0.025
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4


Mesh campo magnetico trasmesso
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
4
3
× 10-9
2
1
0
t[s]
0
0.2
0.4
0.6
0.8
z[m]


Espressione istantanea campo magnetico riflesso - t fissato
Ampiezza
z[m]

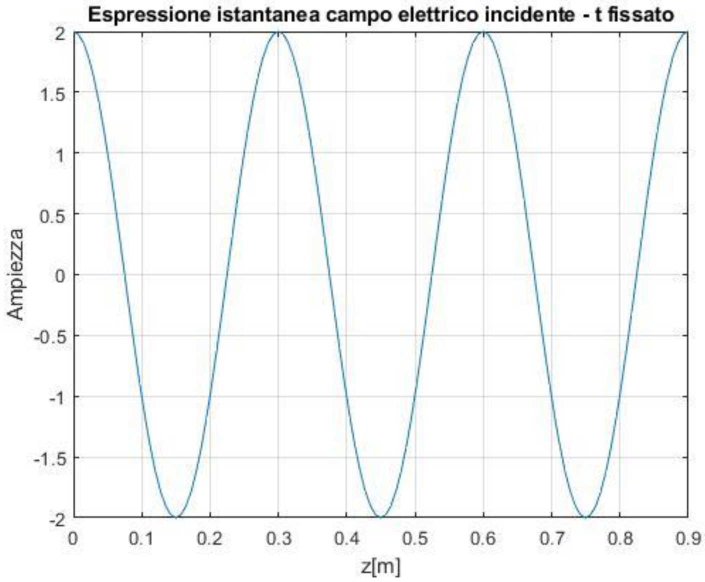

Espressione istantanea campo magnetico riflesso - z fissato
Ampiezza
t[s]

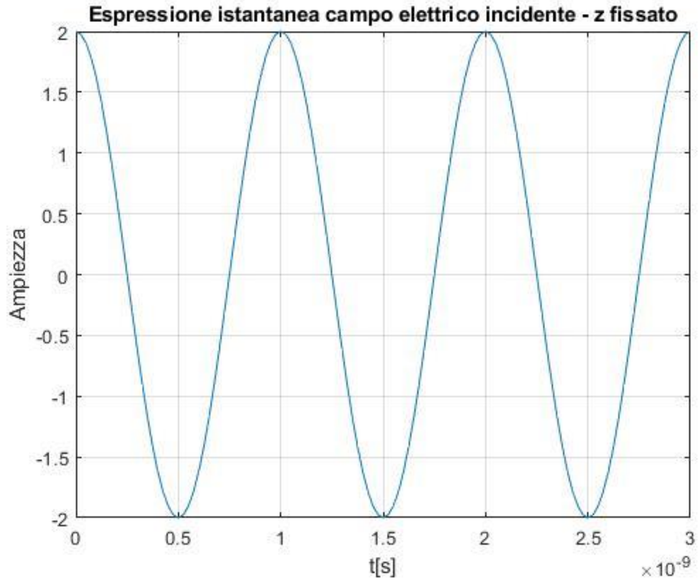

Mesh campo magnetico riflesso
z[m]
t[s]

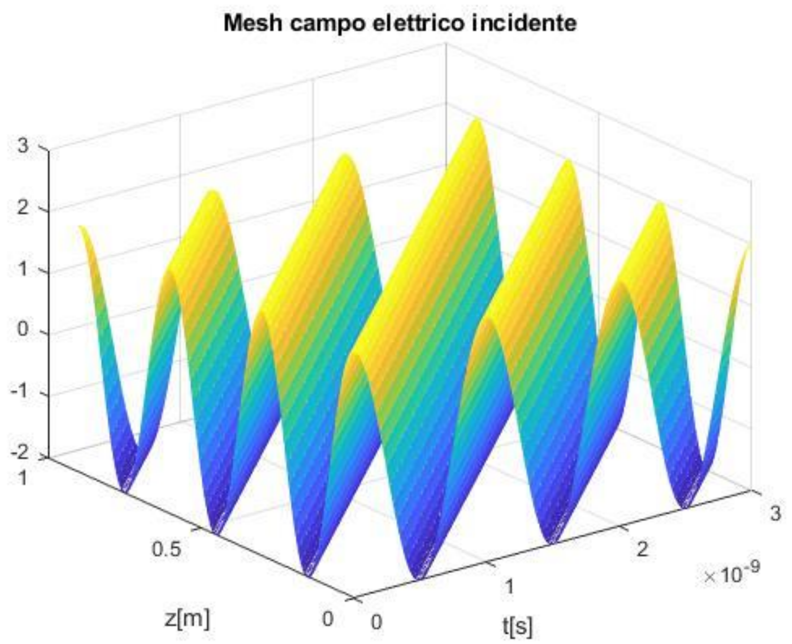
Mezzi con perdite.

APPENDICE C - CODICE

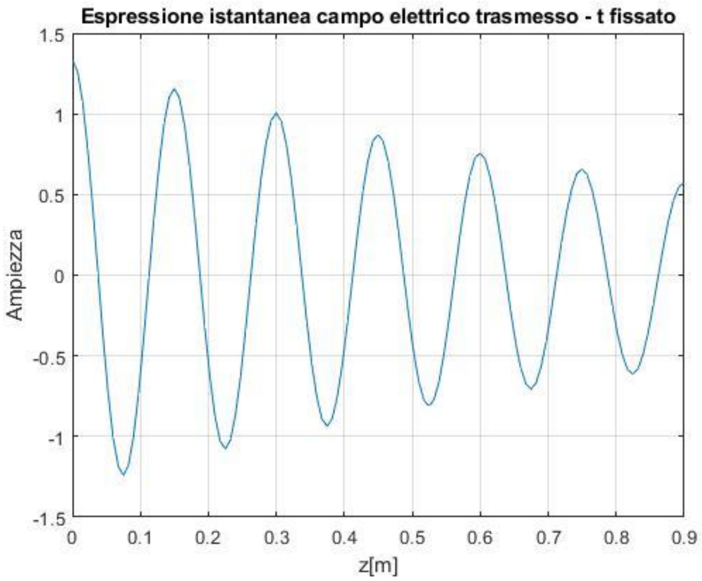
Campo elettrico incidente:

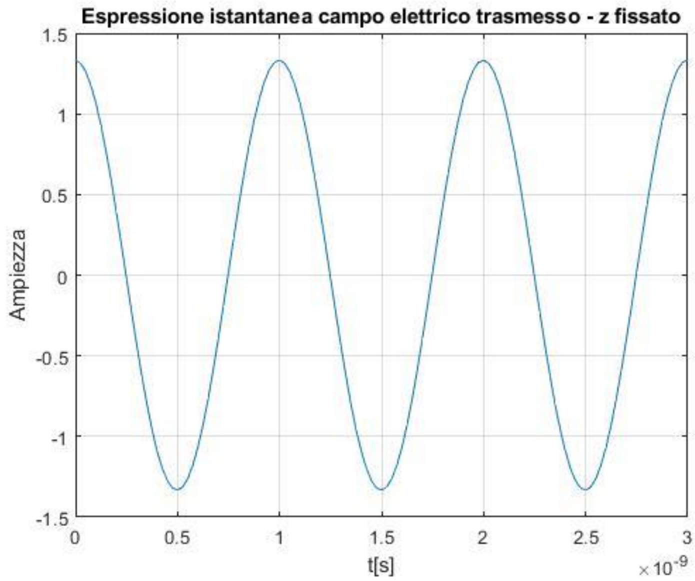


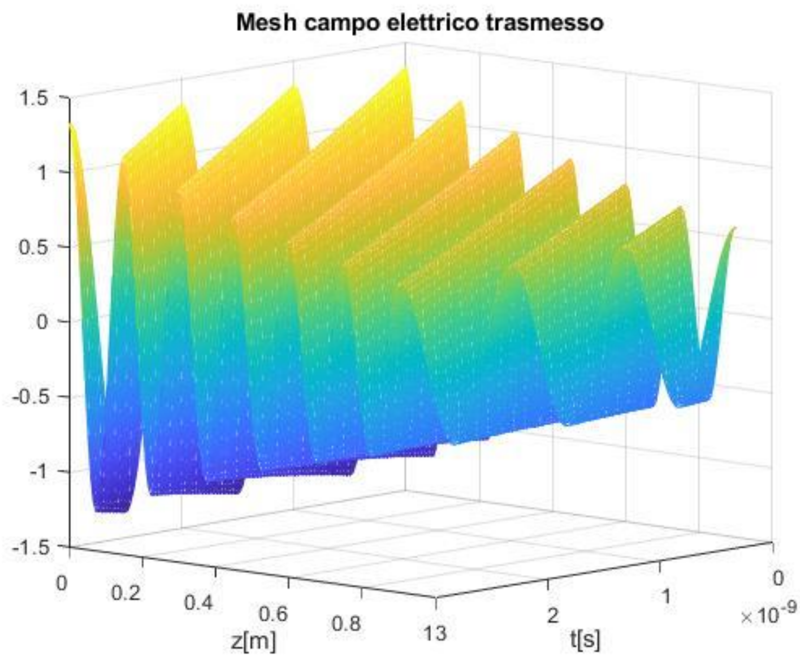




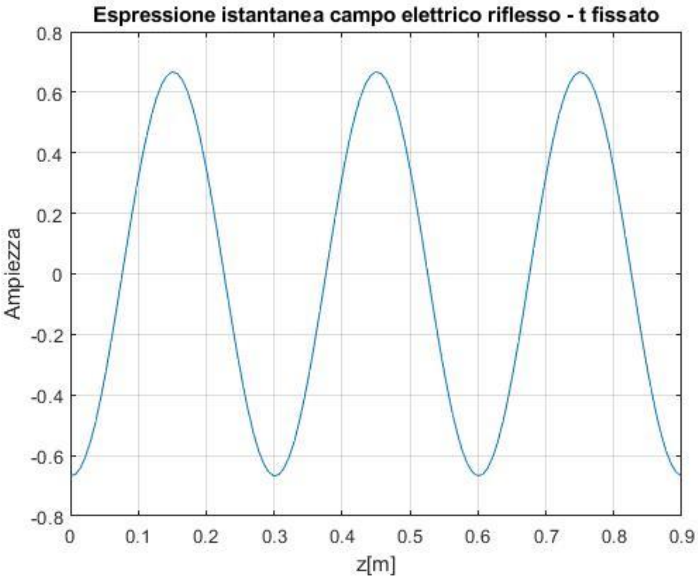
Campo elettrico trasmesso:

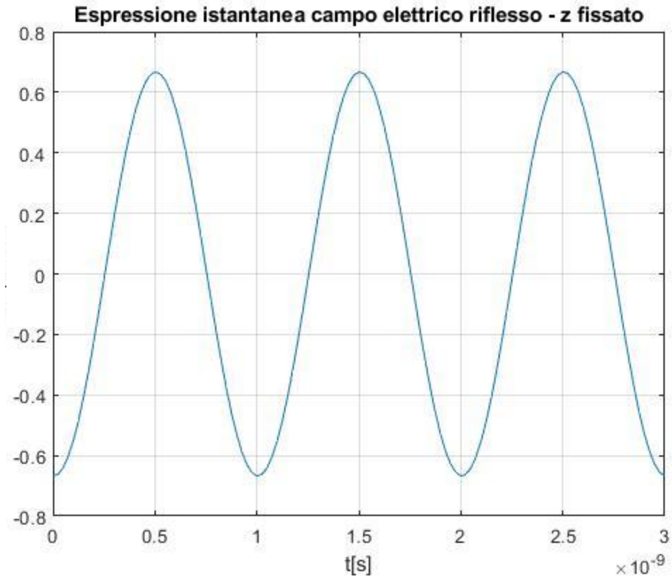


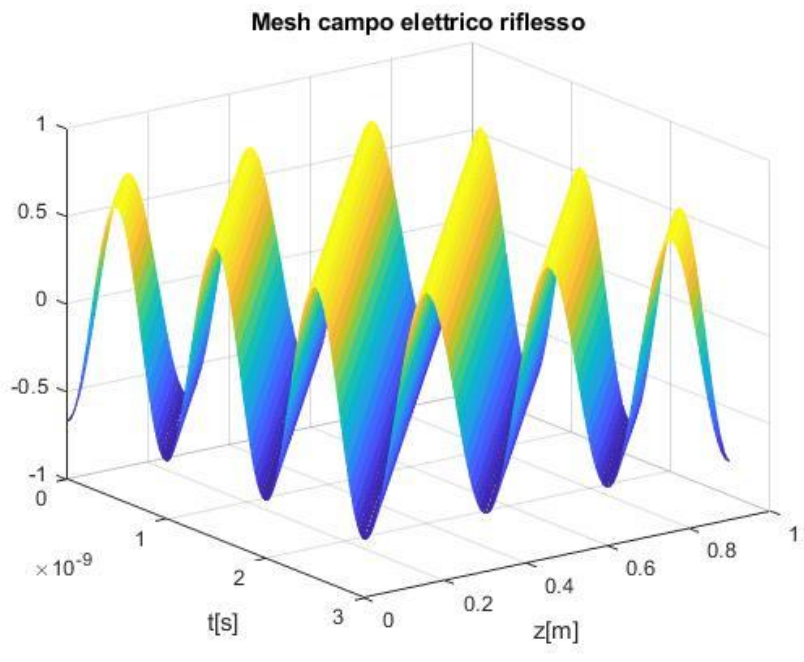


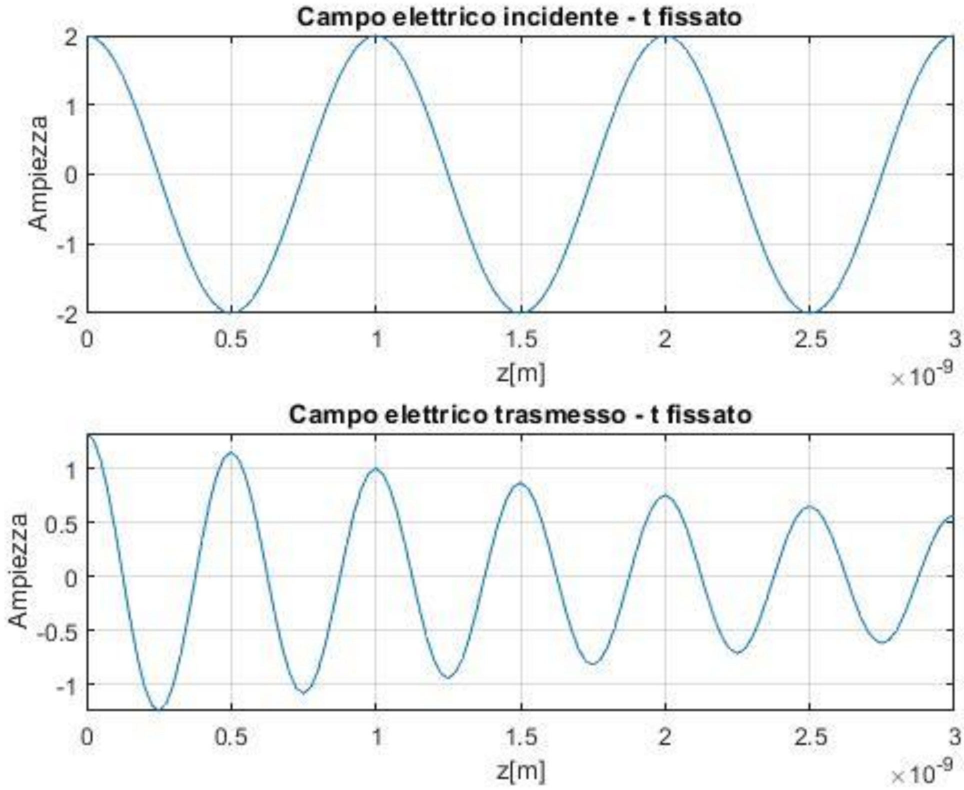


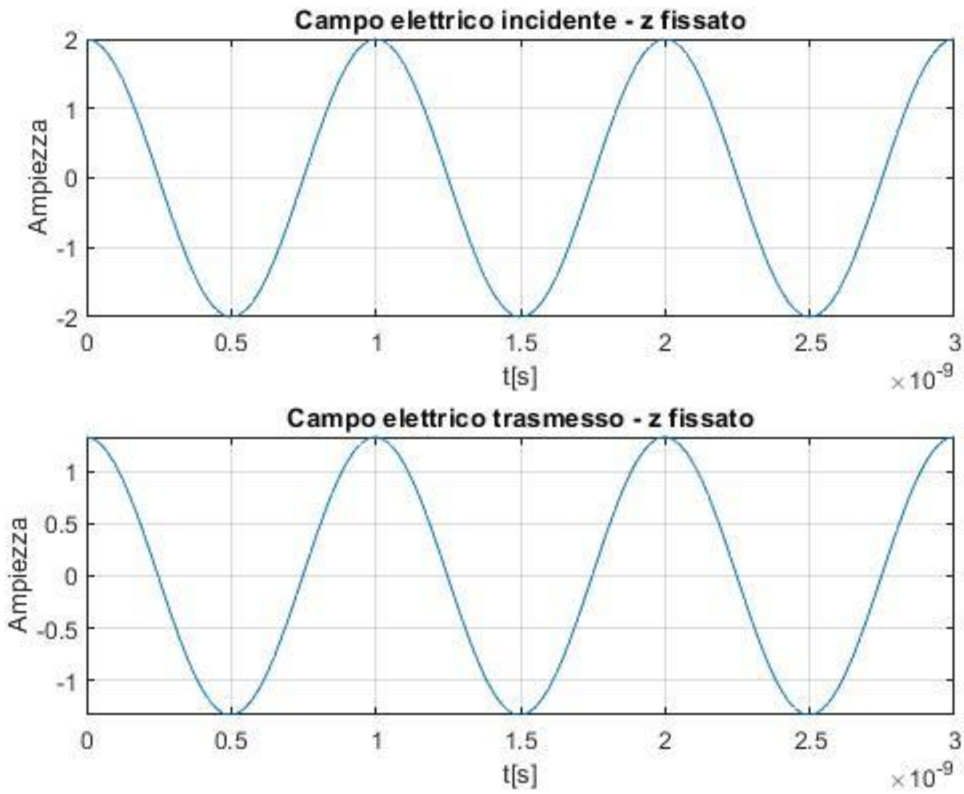
Campo elettrico riflesso:







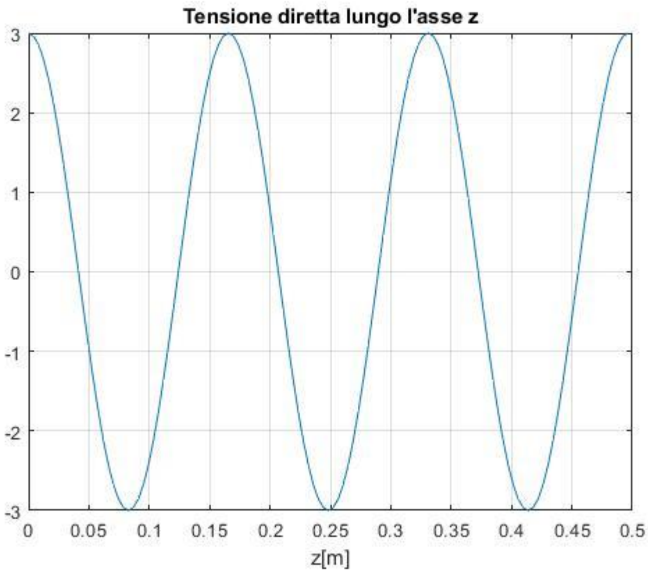

Campo elettrico incidente - t fissato
Ampiezza
z[m]
×10-9
Campo elettrico trasmesso - t fissato
Ampiezza
z[m]
×10-9

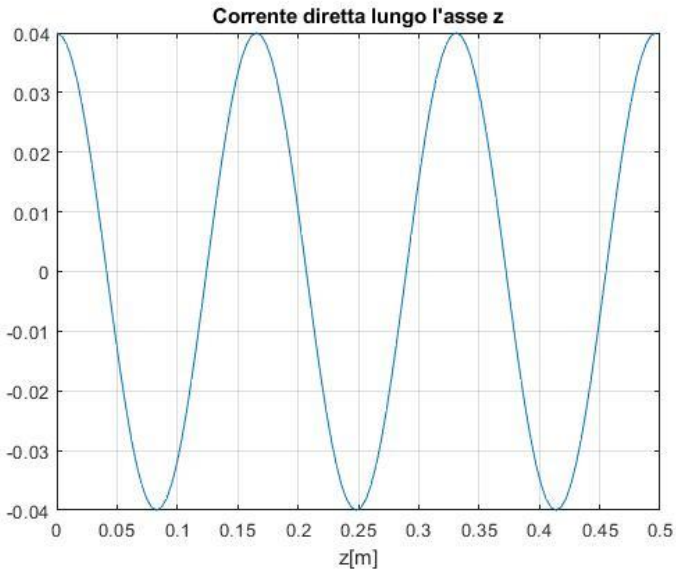

Campo elettrico incidente - z fissato
Ampiezza
t[s]
×10-9
Campo elettrico trasmesso - z fissato
Ampiezza
t[s]
×10-9

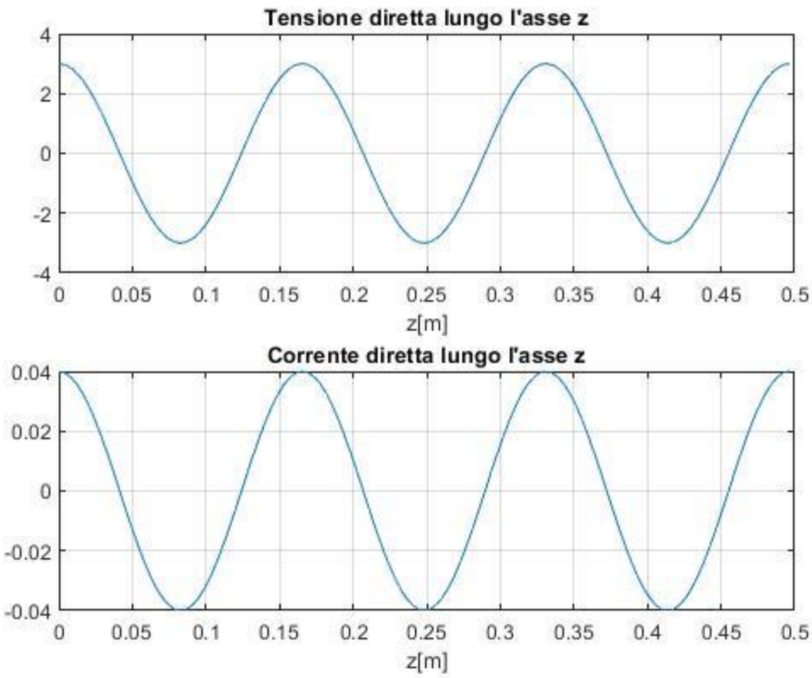
Linee di trasmissione: le soluzioni viaggianti

→ tensione e corrente diretta

APPENDICE D – CODICE







Casi particolari: linea adattata, aperta e in corto circuito.

- **LINEA ADATTATA**

In questo tipo di linea viaggiano solo le onde dirette, non vi è riflessione, tutta l’energia viene trasferita dal generatore al carico. Il carico della linea è pari a $Z_L = Z_0$ e la linea è uguale ad una linea infinitamente lunga. Le espressioni viaggianti assumono la forma:

$$\begin{cases} V(z) = V^+ e^{-jkz} \\ I(z) = I^+ e^{-jkz} = \frac{V^+}{Z_0} e^{-jkz} \end{cases}$$

da quest’ultime relazioni si ricava: |V(z)|= |V+|, |I(z)|= |V+/Zo|. Il modulo della tensione e della corrente assumono valore costante.

- **LINEA IN CORTO CIRCUITO**

In questo tipo di configurazione ZL= 0 in qualsiasi punto della linea. Vo=V(0)= 0 quindi la tensione è nulla ➔ cortocircuito. Le espressioni viaggianti diventano: $\begin{cases} V(z) = -j\, Zo\, Io \sin(kz) \\ I(z) = Io \cos(kz) \end{cases}$

Per quanto riguarda i moduli si ha: |V(z)|=Zo Io |sin(kz)| e |I(z)|= Io |cos(kz)|.

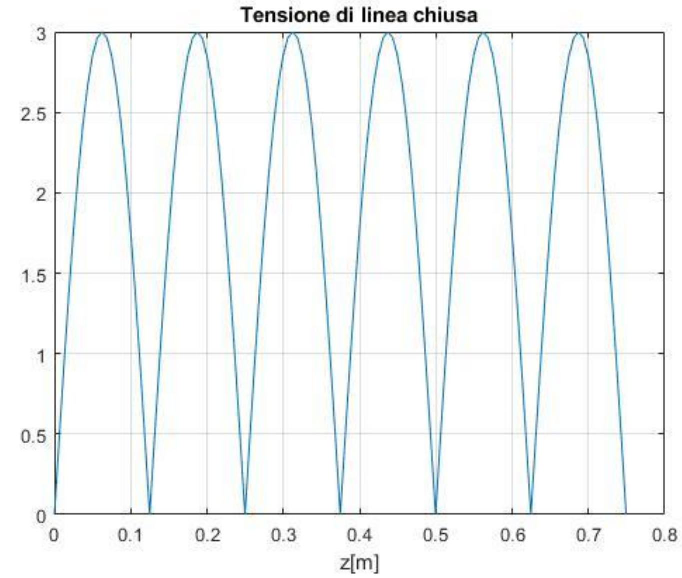
In presenza di corto circuito, il modulo della tensione e della corrente subiscono forti sbalzi lungo la linea, assumendo l’andamento di un’onda stazionaria.

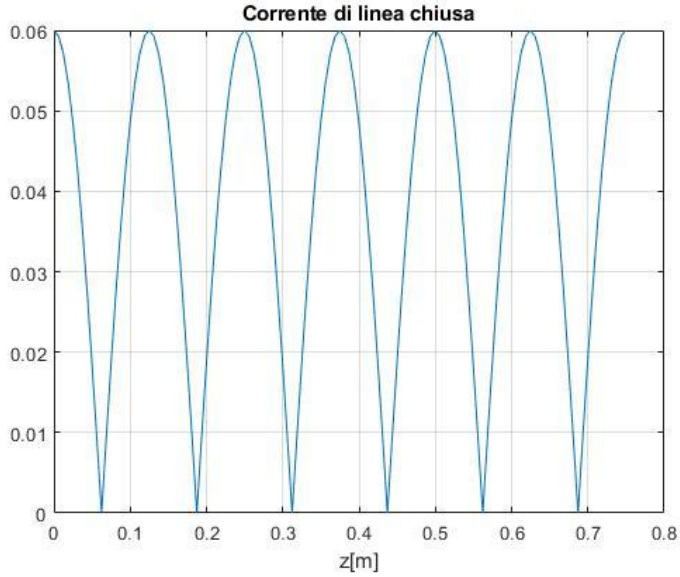
- **LINEA APERTA**

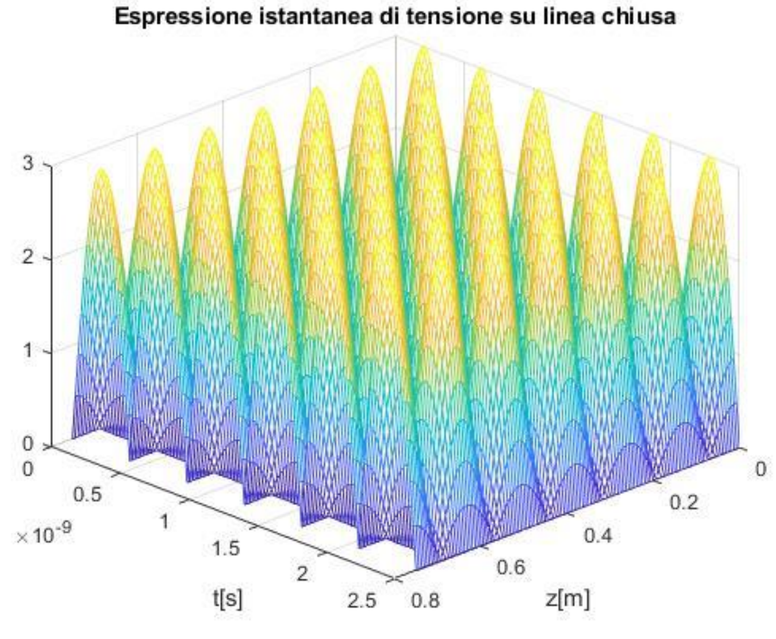
In questo caso $Z_L \to +\infty$, in qualsiasi punto della linea, e non c’è passaggio di corrente. Io=I(0)=0

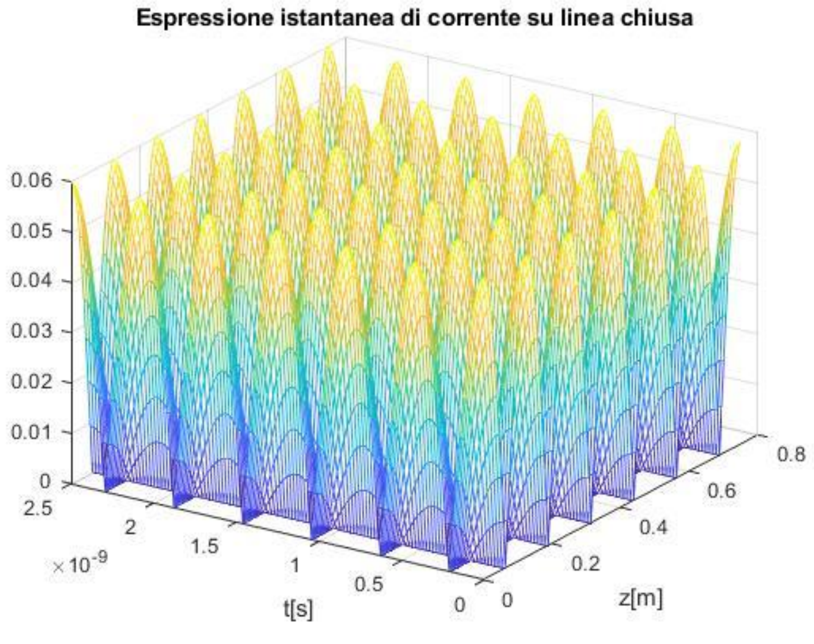
Sostituendo tale condizione nelle soluzioni stazionarie, si ha: $\begin{cases} V(z) = Vo \cos(kz) \\ I(z) = -j\, \frac{Vo}{Zo} \sin(kz) \end{cases}$ |V(z)|= Vo |cos(kz)| e |I(z)|= (Vo/Zo) * |sin(kz)|.

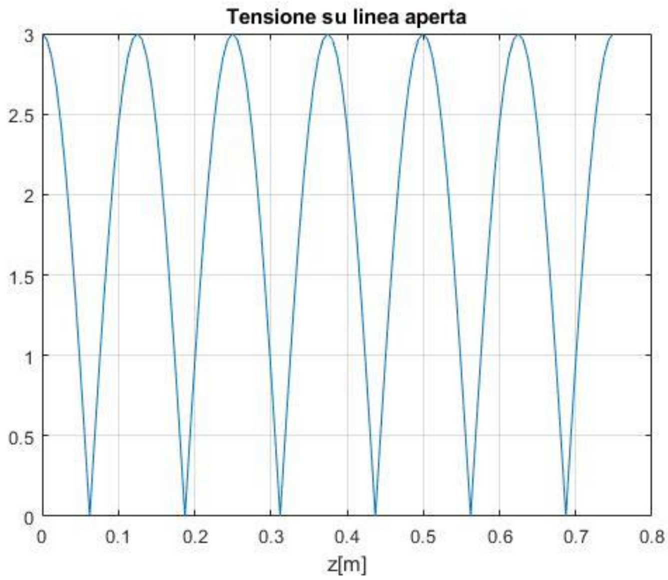
APPENDICE E

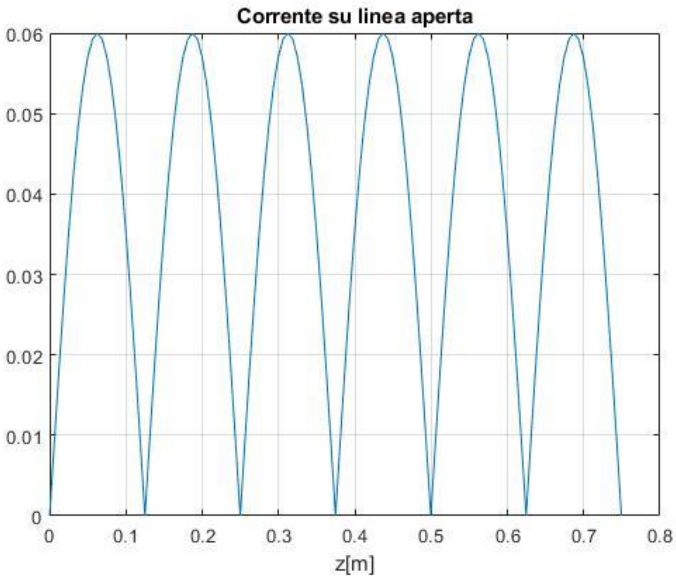

Tensione di linea chiusa
z[m]

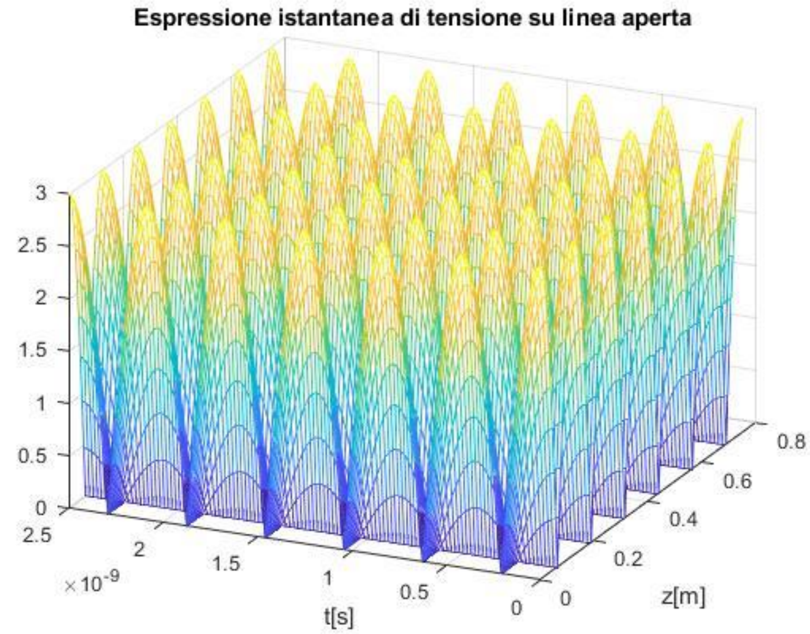

Corrente di linea chiusa
z[m]

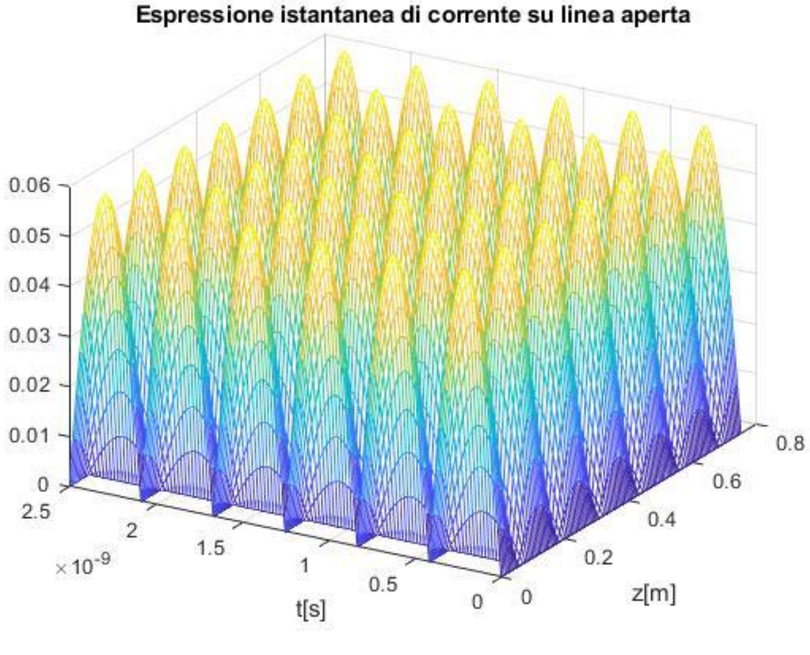

Espressione istantanea di tensione su linea chiusa
×10^-9
t[s]
z[m]

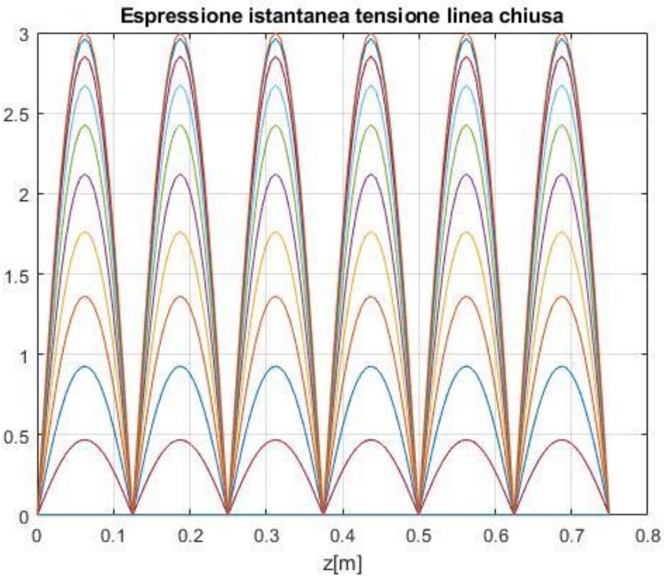

Espressione istantanea di corrente su linea chiusa
×10^-9
t[s]
z[m]

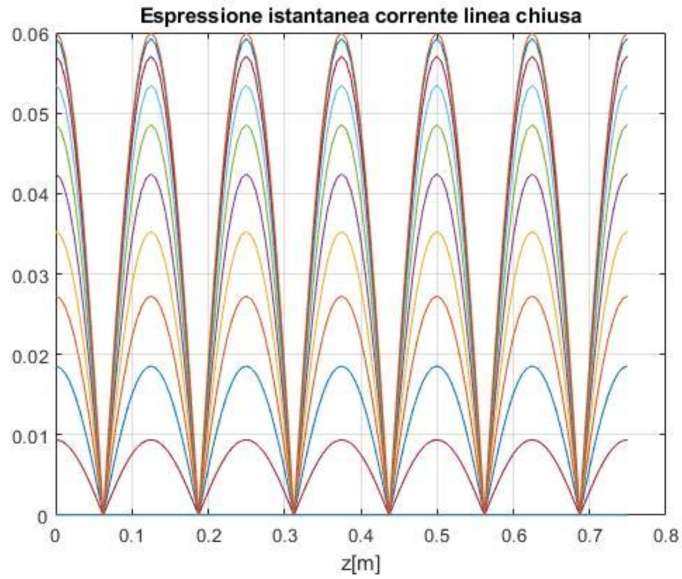

Tensione su linea aperta
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8
z[m]

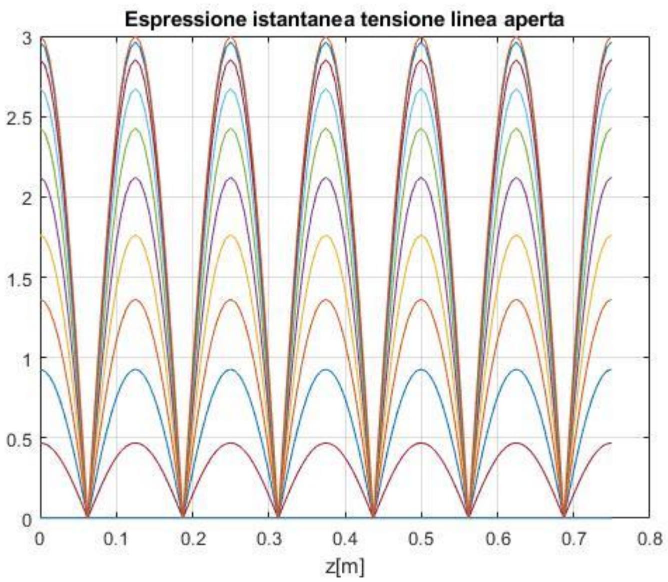

Corrente su linea aperta
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8
z[m]

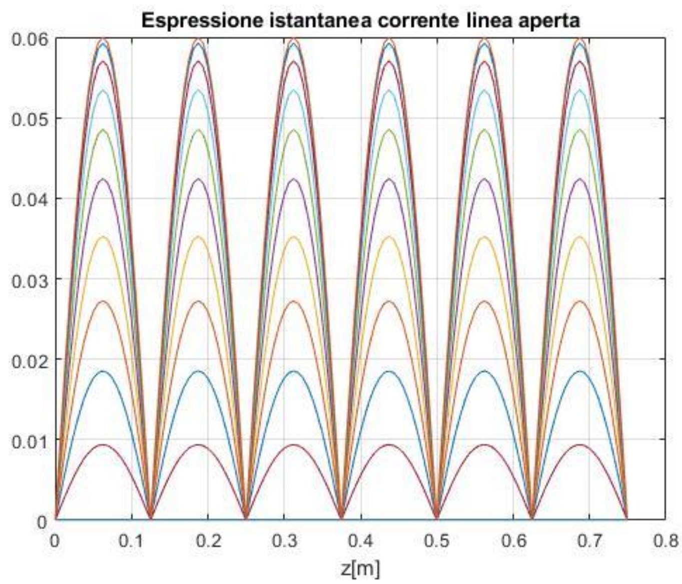

Espressione istantanea di tensione su linea aperta
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
2.5 2 1.5 1 0.5 0
×10^-9
t[s]
0 0.2 0.4 0.6 0.8
z[m]


Espressione istantanea di corrente su linea aperta
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
2.5 2 1.5 1 0.5 0
×10^-9
t[s]
0 0.2 0.4 0.6 0.8
z[m]


Espressione istantanea tensione linea chiusa
z[m]


Espressione istantanea corrente linea chiusa
z[m]


Espressione istantanea tensione linea aperta
z[m]

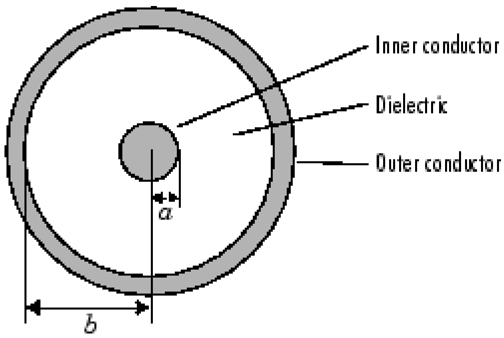

Espressione istantanea corrente linea aperta
z[m]

Cavo coassiale.

Nel mondo delle telecomunicazioni, il cavo coassiale è un mezzo (una linea) di trasmissione di segnali informativi e, avendo a che fare con l'impedenza, la sua unità di misura chiave è l'Ohm.
È formato da un conduttore centrale in rame (***nucleo***) e da un dielettrico che separa il corpo centrale da uno strato esterno costituito da fili metallici intrecciati (***maglia***). Il quarto strato, ovvero la parte esterna, è infine una ***guaina*** in plastica protettiva. Ovviamente, alle estremità, un cavo coassiale ha dei connettori che ci permettono di effettuare dei collegamenti con vari dispositivi.

Il segnale viaggia sotto forma di campo elettromagnetico tra l'anima e la maglia, ad una velocità v.

In MatLab esiste una classe di funzioni utili a rappresentare le linee di trasmissione coassiali, caratterizzate da un raggio interno *a*, uno esterno *b*, dal tipo di dielettrico e dalla lunghezza del cavo *l*.



h = rfckt.coaxial('Property1', value1, 'Property2', value2, ...)

ritorna un oggetto di tipo 'linea di trasmissione coassiale' **h**, con le *proprietà* specificate:

OuterRadius, InnerRadius, EpsilonR, LineLength, Name, ecc.

Inoltre abbiamo a disposizione le funzioni: ***analyze*** che analizza l'oggetto RFCKT nel dominio delle frequenze, ***getz0*** che restituisce l'impedenza caratteristica della linea.

Per un condensatore cilindrico la capacità vale $\boldsymbol{C} = \frac{2\pi\, \varepsilon_r\, \varepsilon_0}{\ln(b/a)}$ mentre l'induttanza

$$\boldsymbol{L} = \frac{\eta\, \Gamma o\ \ \Gamma r\ \ l}{2\pi} * \ln(b/a).$$

APPENDICE F – CODICE

$\underline{1^a PARTE}$: abbiamo creato un oggetto cavo coassiale h, specificando i valori di raggio interno, raggio esterno, costante dielettrica relativa e lunghezza della linea.

Abbiamo inizializzato la frequenza f.

Successivamente abbiamo richiamato *analyze(h,f)*: è una funzione che analizza un oggetto RFCKT, cioè restituisce tutti i dati del cavo alla frequenza specificata. Per esempio restituiamo l’impedenza caratteristica della linea: *z0= getz0(h)*. (vedi **Risultato 1)**

$\underline{2^a\ PARTE}$: restituire alcune caratteristiche della linea col *metodo ‘carta e penna’*.
Abbiamo impostato valori per la costante dielettrica, permeabilità magnetica, raggio esterno e interno, lunghezza del cavo, e calcolato l’impedenza caratteristica della linea mediante la formula:

$z0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ dove L e C li abbiamo calcolati con le formule scritte in precedenza. (vedi **Risultato 2)**

- Risultato 1-

```
ans =


  rfckt.coaxial with properties:


      OuterRadius: 0.0035
      InnerRadius: 8.2000e-04
              MuR: 1
         EpsilonR: 2.1000
      LossTangent: 0
        SigmaCond: Inf
       LineLength: 1
         StubMode: 'NotAStub'
      Termination: 'NotApplicable'
            nPort: 2
   AnalyzedResult: [1×1 rfdata.data]
             Name: 'Coaxial Transmission Line'


z0 =
```

-Risultato 2-

```
C =

  8.0502e-11

L =

  2.9024e-07

z0 =

  60.0450
```

THE END