

# Campi Elettromagnetici - Laboratorio 1

a.a 2024/2025

## TRANSITORI SU LINEE DI TRASMISSIONE

### Specifiche

Scopo di questa esercitazione è verificare il comportamento di spezzoni di linea in diverse condizioni di pilotaggio e di terminazione.

L'esecuzione delle misure richiede l'allestimento di un banco riflettometrico con strumenti standard.

Strumentazione e componenti richiesti:

- Generatore di segnali con impedenza di uscita  $50 \Omega$
- Oscilloscopio con banda passante di almeno di 60 MHz
- Matassa di cavo con impedenza caratteristica  $Z_W = 50 \Omega$  (RG58) di 15 - 20 m
- Altro spezzone di cavo di 1 - 2 m
- Adattatori e terminazione a  $50 \Omega$
- Altre resistenze per realizzare terminazioni non adattate e disadattamento al generatore (22, 120, 220  $\Omega$ )
- Condensatori per terminazione RC: 1 nF, 47 nF, 1  $\mu$ F

### Progetto

In questa esercitazione la parte di progetto comprende il calcolo delle forme d'onda previste per le diverse situazioni in cui vengono effettuate delle misure mediante il diagramma a traliccio.

### Misure

La disposizione degli strumenti da usare per tutte le misure è indicata nella figura 1. L'oscilloscopio rileva i segnali ai due estremi del cavo in diverse condizioni di pilotaggio e di terminazione. Per collegare elementi circuitali in serie o in parallelo al cavo sfruttare la basetta con le morsettiere riportate dai BNC. La basetta va collocata, a seconda della misura in atto, dal lato generatore o dal lato terminazione (vedi Fig. 1).

Il generatore va predisposto per generare onde quadre di ampiezza 2 V con frequenza 200 kHz circa con offset 1V. (dati indicativi, per ottenere una comoda visualizzazione sull'oscilloscopio). Attenzione: il punto è il separatore decimale.

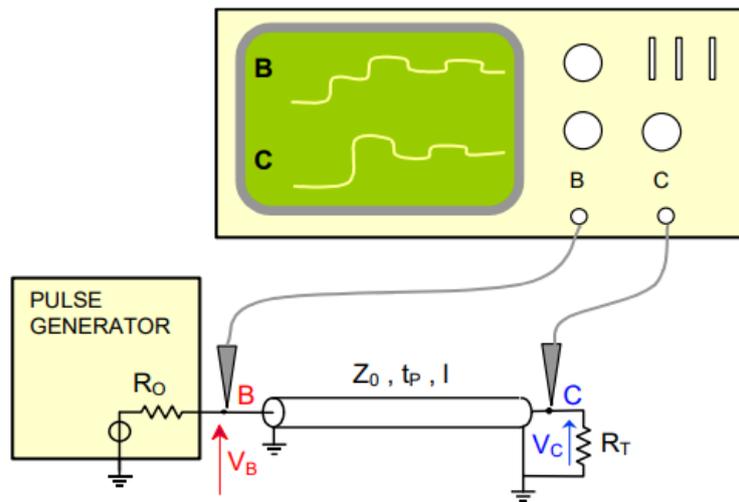


Figura 1: Banco di misura

Le misure da eseguire sono nell'ordine:

- A) Misura dei parametri del generatore;
- B) Misura dei parametri del cavo;
- C) Effetti del disadattamento in B e in C;
- D) Effetti del carico capacitivo;

La lunghezza del cavo determina il tempo di trasmissione  $t_P$ , e di conseguenza la scala dei tempi per tutte le misure e le caratteristiche degli strumenti. Con 10 m di cavo è possibile eseguire le misure con un oscilloscopio da 100 MHz. I componenti agli estremi del cavo possono essere collegati con adattatori del tipo mostrato in figura 2.

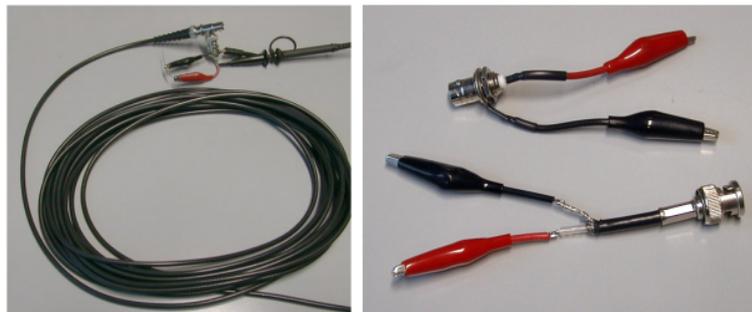


Figura 2: Cavo e pinze per i collegamenti usati per l'esperienza

## A) Misura dei parametri del generatore

1. Verificare l'ampiezza  $V_B$  dell'uscita del generatore a vuoto utilizzando la sonda dell'oscilloscopio (vedi Fig. 3a).
2. Collegare al generatore un carico  $R_L$  noto (ad esempio  $100 \Omega$ ), e misurare il nuovo valore di  $V_B$ ; dalle due misure calcolare l'impedenza di uscita  $R_O$  del generatore (Figura 3b). Il valore ottenuto deve essere prossimo a  $50 \Omega$ .

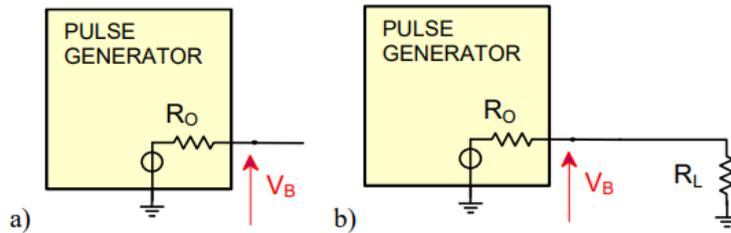


Figura 3: Misura dell'impedenza di uscita del generatore

## B) Misura dei parametri del cavo

1. Collegare il generatore ed i cavi corto e lungo ai due canali dell'oscilloscopio, e verificare le forme d'onda ai due estremi. (Figura 4); confrontare con il risultato ricavato con diagramma a traliccio (Esercizio 1). Dalla forma d'onda rilevata in B (lato generatore) e dalla lunghezza (misurata) del cavo, calcolare la velocità di propagazione. Per il cavo RG58 si dovrà ottenere un valore prossimo a  $0,7c$ .

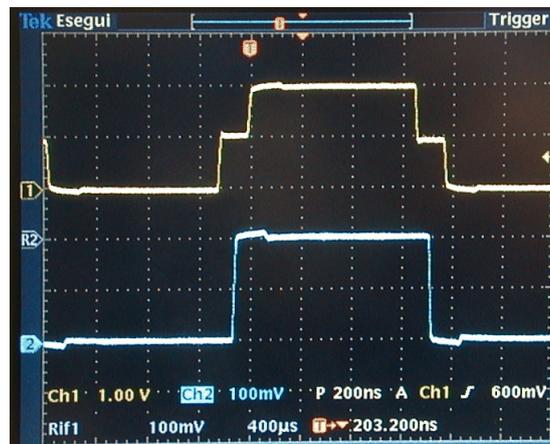


Figura 4: La traccia superiore corrisponde al segnale lato generatore; i due gradini corrispondono rispettivamente all'onda incidente e all'onda riflessa. Dato che il generatore è adattato, non vi sono ulteriori riflessioni

2. Collegare una resistenza di terminazione da  $50 \Omega$  (vedi Appendice) e verificare l'assenza di riflessioni.

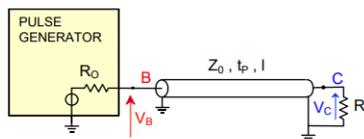


Figura 5: Misura della velocità di propagazione nel cavo

### C) Disadattamento sul generatore e sul carico

1. Collegare una resistenza  $R_S$  ( $220 \Omega$ ) in serie tra generatore e linea, lasciando la linea aperta in C ( $\Gamma_C = 1$ ).
2. Dalle forme d'onda ai due estremi calcolare il coefficiente di riflessione  $\Gamma_G$  (generatore), e confrontare con il valore calcolato.

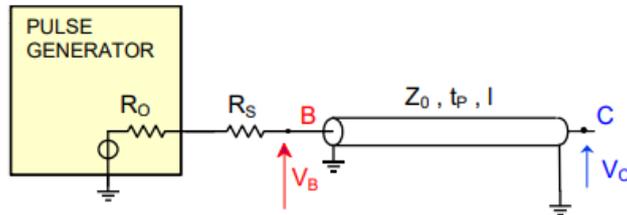


Figura 6: Resistenza di terminazione serie per  $R_O < Z_0$ , linea aperta

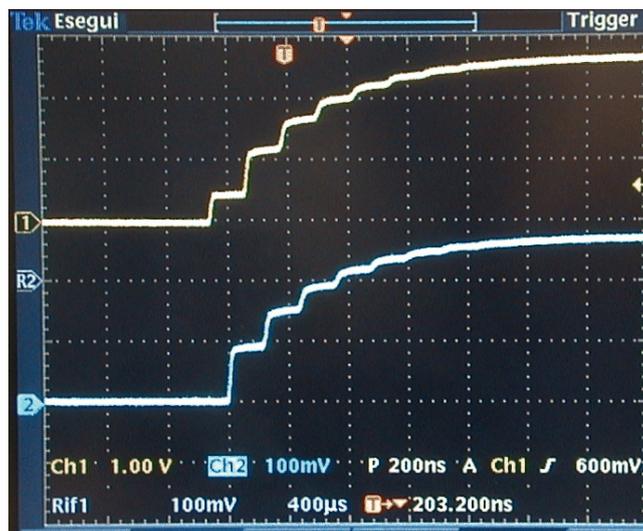


Figura 7: Segnali per  $R_O > Z_0$ , e linea aperta

Ripetere la misura con resistenza equivalente del generatore più bassa della impedenza caratteristica (inserire una resistenza da  $22 \Omega$  in parallelo sull'uscita del generatore). Dato che il coefficiente di riflessione lato generatore è negativo, saranno presenti delle oscillazioni. Verificare le forme d'onda ottenute con quelle teoriche ottenute con il diagramma a traliccio, e il valore misurato di  $\Gamma_G$  con quello calcolato.

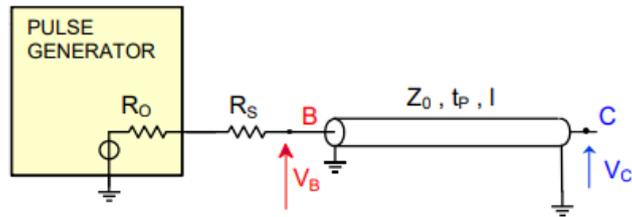


Figura 8: Resistenza  $R_G < Z_0$ , linea aperta

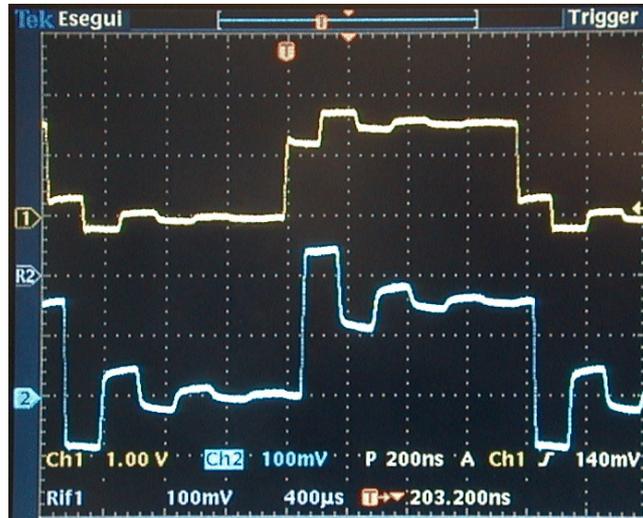


Figura 9: Segnali per  $R_G < Z_0$ , linea aperta

#### D) Carico capacitivo

1. Collegare un condensatore da 1 nF in C.
2. Verificare le forme d'onda agli estremi del cavo.

Per un'analisi di prima approssimazione, quando il gradino raggiunge C, il condensatore può essere considerato un corto circuito ( $\Gamma_C = -1$ ), mentre a transitorio esaurito diventa un circuito aperto ( $\Gamma_C = 1$ ). Quindi le forme d'onda corrispondono a quelle di un corto circuito per  $t = t_P$  in C, e per  $t = 2 t_P$  in B.

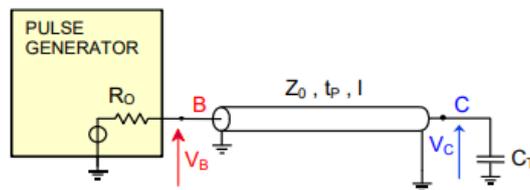


Figura 10: Verifica delle forme d'onda con carico capacitivo



Figura 11: Forme d'onda nella linea di trasmissione con carico capacitivo

## APPENDICE A

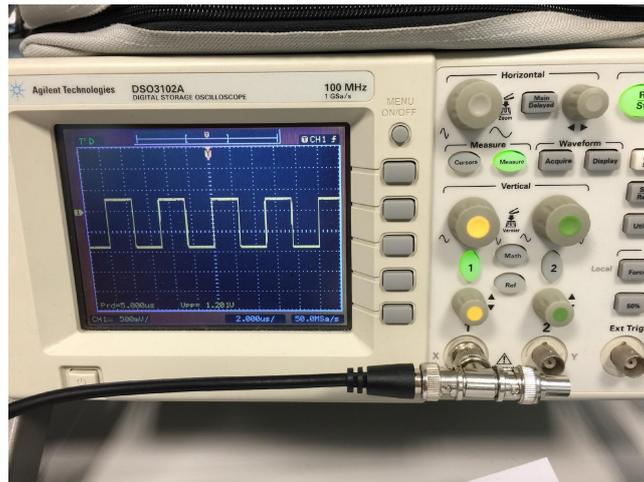


Figura 12: Collegamento carico da 50  $\Omega$

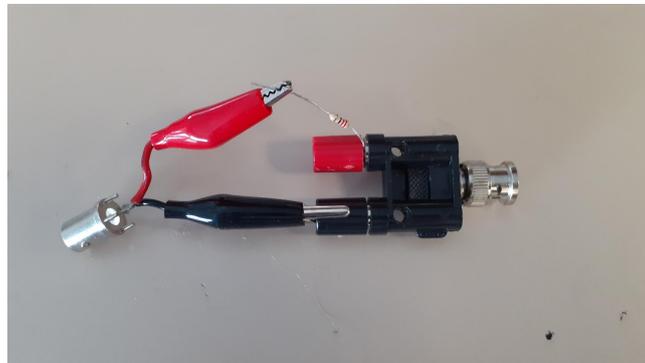


Figura 13: Collegamento resistenza in serie



Figura 14: Collegamento resistenza in parallelo

## APPENDICE B

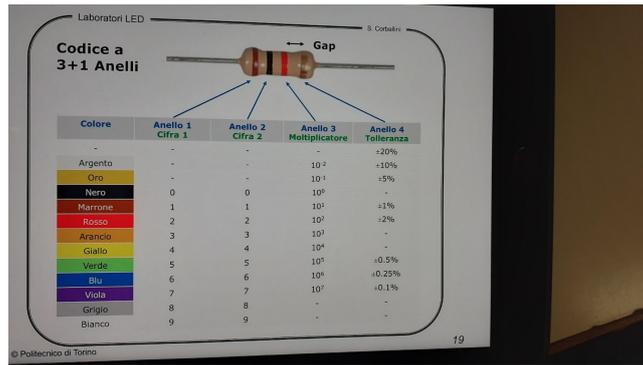


Figura 15: Codice resistenze

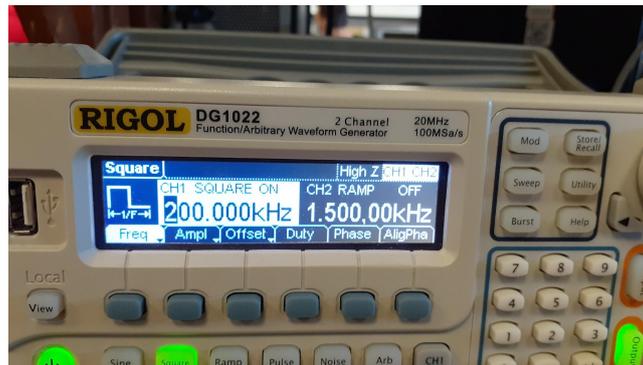


Figura 16: Generatore Rigol



Figura 17: Scale oscilloscopio