

Linee di trasmissione

- Finora esperienza con circuiti a **costanti concentrate**.
- E' un'approssimazione, valida solo per lunghezze d'onda dei segnali “grandi” rispetto alle dimensioni del circuito.

Esempio

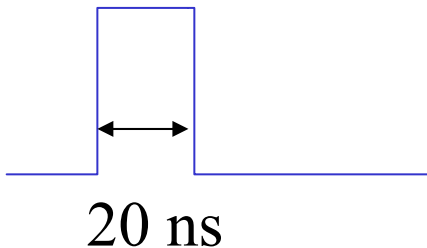
- Sinusoidale da 100 KHz

$$\lambda = c/v = 3 \cdot 10^8 / 10^5 = 3 \text{ Km !!!}$$

- Impulso di durata di 20ns, approx.

$$v \sim 1/T = 1/2 \cdot 10^{-8} = 50 \text{ MHz}$$

$$\lambda = c/v = 3 \cdot 10^8 / 5 \cdot 10^7 = 6 \text{ metri}$$



Frequenze che sono molto comuni...

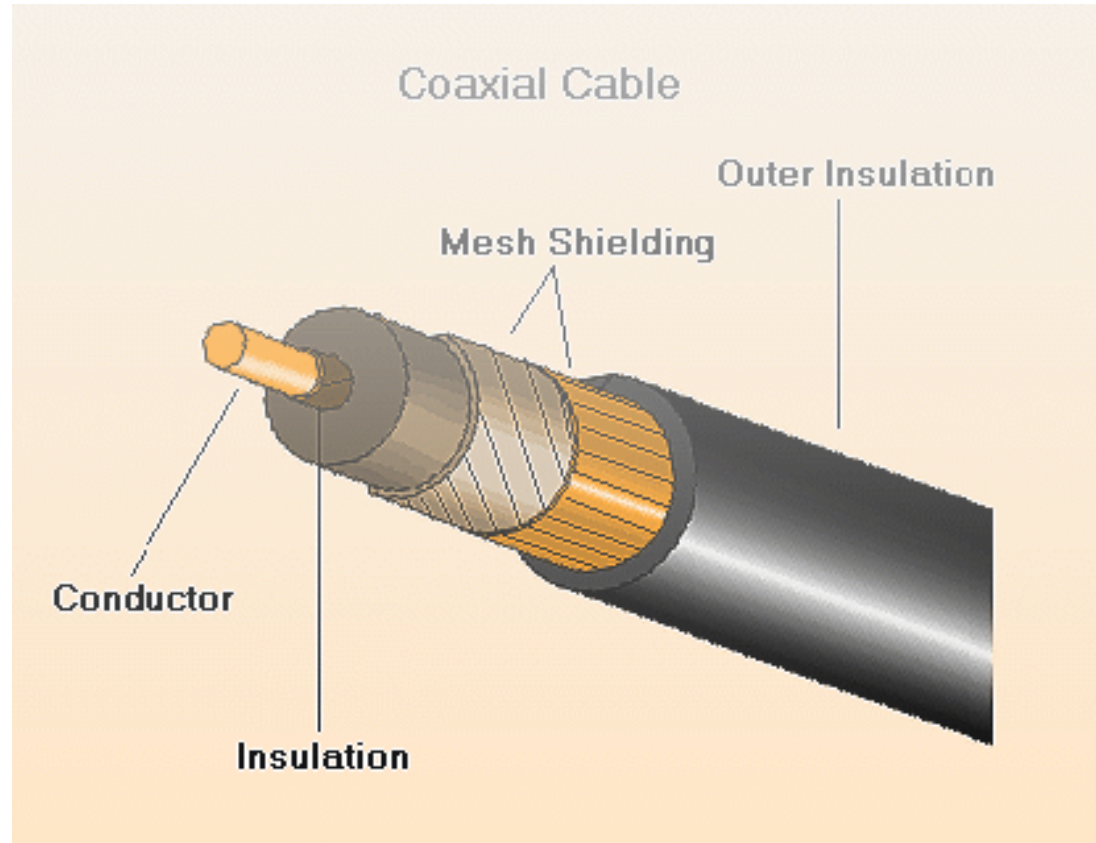
- Non sono frequenze “impossibili” ...
- Radio FM 88-108 MHz
- TV 500 MHz
- Clock sui computer :
 - 33 MHz PCI
 - 200 MHz memoria
 - xGHz CPU

Linee

- Trasmissione di segnali a distanza (**km come cm** → **cavi oppure piste di circuiti stampati**)
 - Cavi coassiali
 - Linee bifilari (twisted pairs)
 - Piste parallele o “embedded” nei circuiti stampati
- **Importante geometria e caratteristiche costanti (dielettrico, conduttore etc.)**

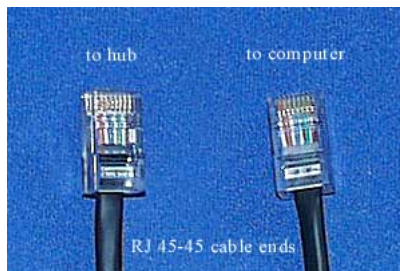
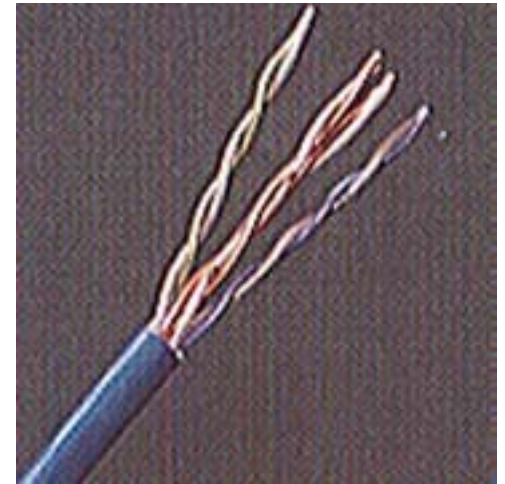
Cavo coassiale

- Cavo schermato
 - isolante interno in polietilene
 - Anima centrale in rame
 - Calza in rame e/o alluminio



Cavo bifilare

- Cavo non necessariamente schermato
 - Conduttori in rame
 - Supporto isolante in PVC o altre tipi di plastica
- **Alta densità di collegamenti**



Connessioni

- Vari tipi di connettori
 - i connettori per cavi coassiali sono complicati e quindi anche costosi

Terminating RG58C/U Coaxial Cable with a BNC Plug:



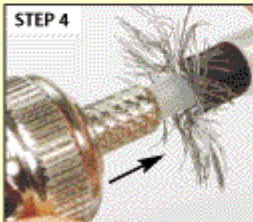
STEP 1
Cut cable to length and slide crimp sleeve onto free end.



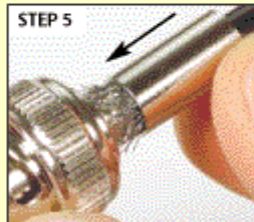
STEP 2
Strip free end with Coaxial Cable Stripper (HT302B, pg. 38).



STEP 3
Slide pin onto center conductor making sure base of pin meets dielectric. Crimp with HT230A, pg. 37.



STEP 4
Fan braid and slide plug over pin.



STEP 5
Pull crimp sleeve over braid and ferrule.



STEP 6
Crimp and test.



Caratterizzazione di una linea

- In prima approssimazione una linea di trasmissione è caratterizzata dalla sua **capacità** e dalla sua **induttanza** per **unità di lunghezza**.
 - Si trascurano resistività del conduttore e conducibilità del dielettrico

Impedenza e velocità

- Calcolate in base alla geometria queste due quantità, si risale:
 - all'**impedenza caratteristica della linea**

$$Z_0 = \sqrt{L/C} = R_0$$

- alla **velocità di propagazione** dei segnali

$$v = 1/\sqrt{LC} \quad \text{NB!!} \neq \omega_c$$

Impedenza caratteristica

- Nelle nostre ipotesi Z_0 è puramente resistiva (reale).
- Sia il generatore di segnale sia il carico collegato al generatore tramite la linea devono essere adattati.
- Il massimo trasferimento di potenza si ha con:

$$R_{\text{gen}} = R_{\text{load}} = R_0$$

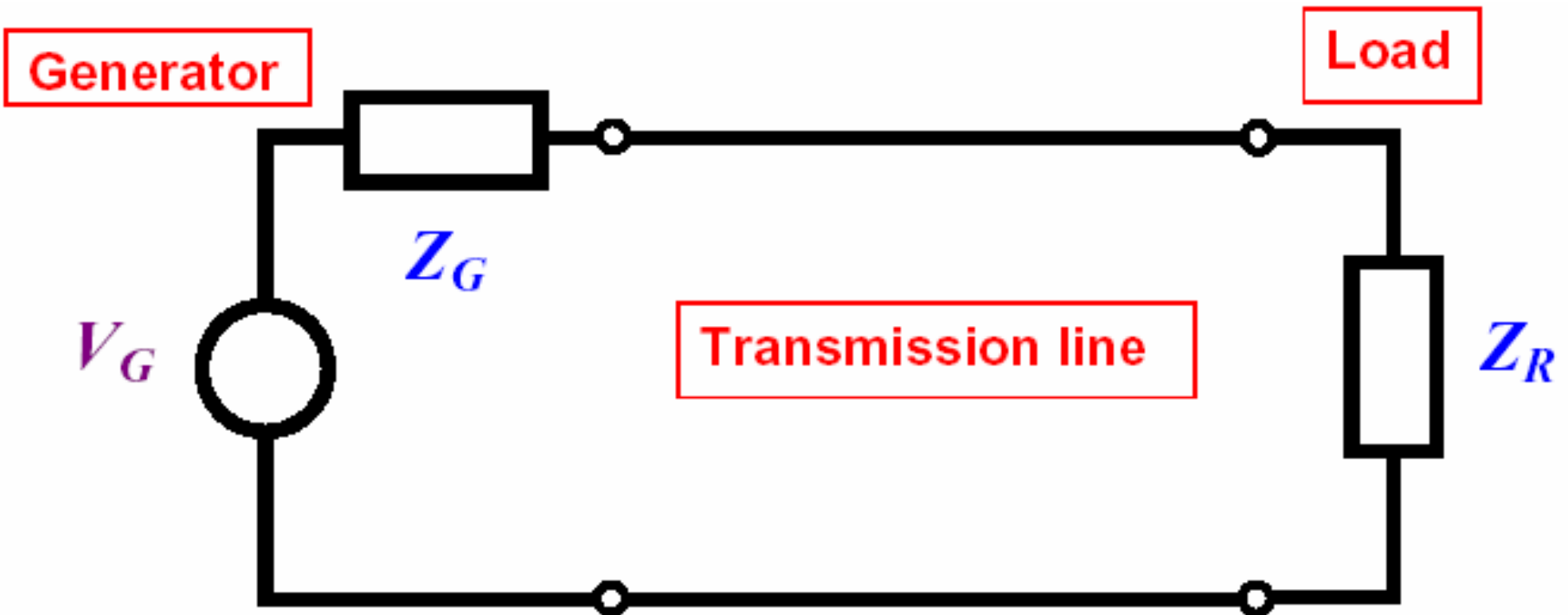
Caveats !

- Errore molto comune
 - L' impedenza caratteristica non dipende dalla lunghezza della linea !!
 - Non è una resistenza serie !



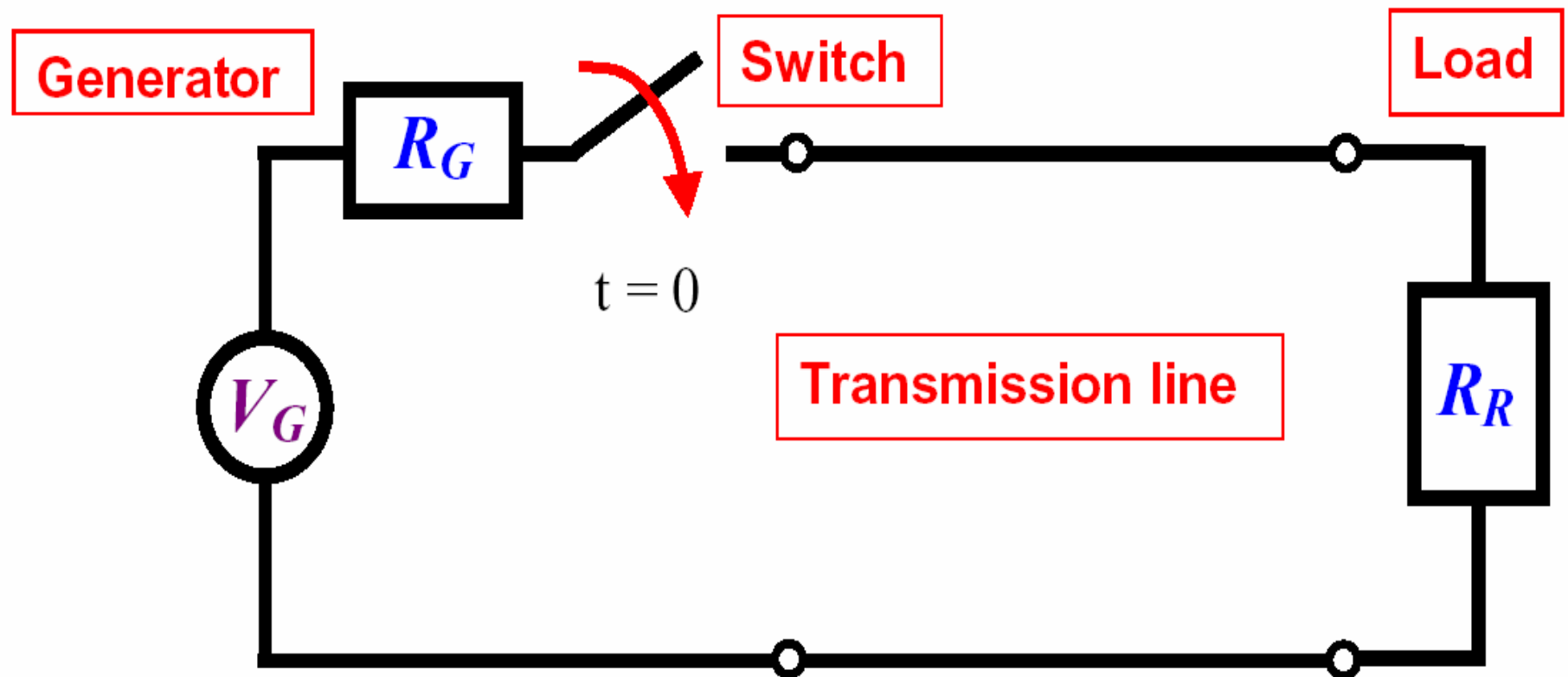
Utilizzo in generale

- Schema di principio



Riflessione del segnale

- All'istante $t=0$ chiudiamo l'interruttore



Riflessione del segnale

- A $t=0$ avremo un gradino di tensione che si propaga:

$$V^+ = I^+ R_0 \text{ con } V^+ = ?$$

- V^+ non è uguale a V_{gen} ma dipenderà dalla impedenza caratteristica del cavo e dall'impedenza di uscita del generatore.
 - $V^+ = V_{\text{gen}} R_0 / (R_{\text{gen}} + R_0)$
- Raggiunto il carico avremo in generale:

$$V^+ \neq I^+ R_{\text{load}}$$

Riflessione del segnale

- Quindi si instaurerà un segnale V^- che si propaga all'indietro tale da:

$$V^+ + V^- = (I^+ + I^-)R_{\text{load}}$$

- Ma anche l'onda riflessa “vede” l'impedenza caratteristica del cavo, per cui:

$$V^- = -I^- R_0$$

- Quindi al ritorno avremo:

Riflessione del segnale

- $V^+ + V^- = (I^+ + I^-)R_{\text{load}}$
- $V^+ + V^- = (V^+/R_0 - V^-/R_0)R_{\text{load}}$
- $R_0(V^+ + V^-) = R_{\text{load}}(V^+ - V^-)$
- $V^-(R_0 + R_{\text{load}}) = V^+(-R_0 + R_{\text{load}})$

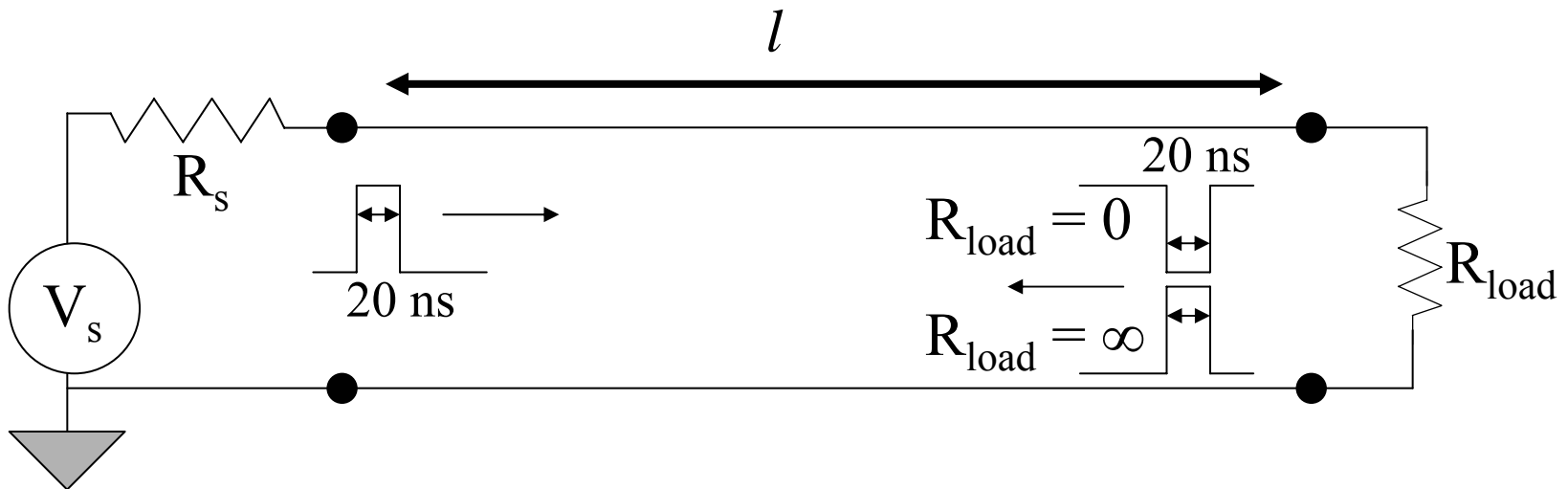
$$V^- = V^+ (R_{\text{load}} - R_0) / (R_{\text{load}} + R_0)$$

Coefficiente di riflessione

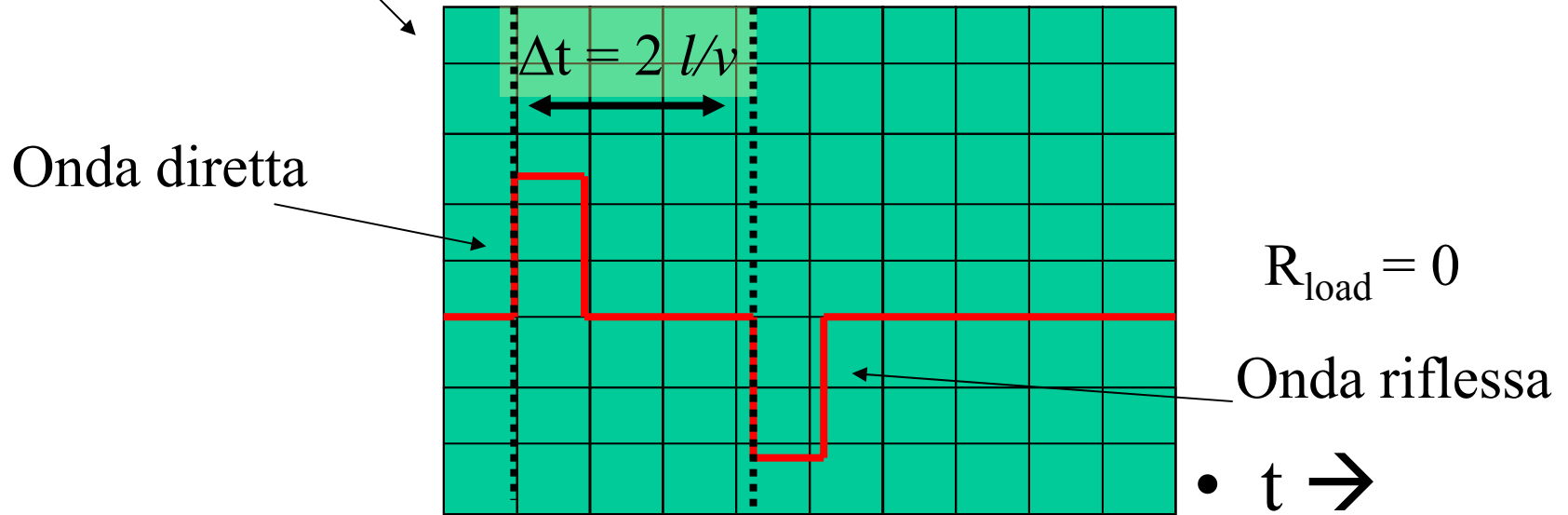
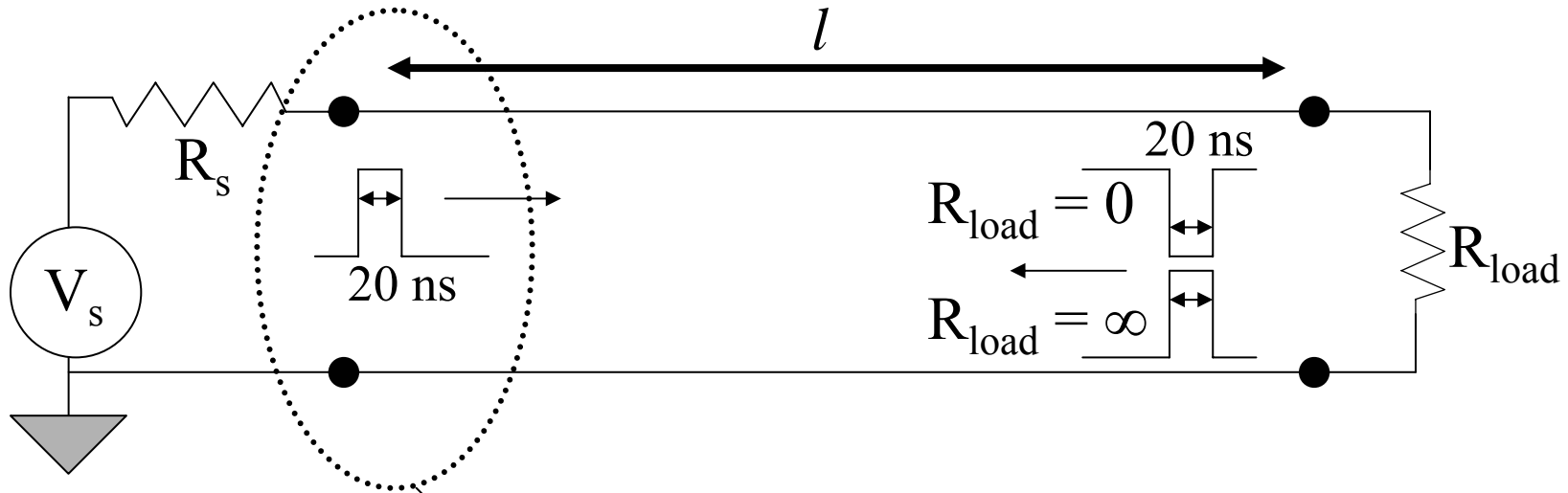
(in tensione sul carico)

$$\Gamma_{\text{load}} = V^-/V^+ = (R_{\text{load}} - R_0) / (R_{\text{load}} + R_0)$$

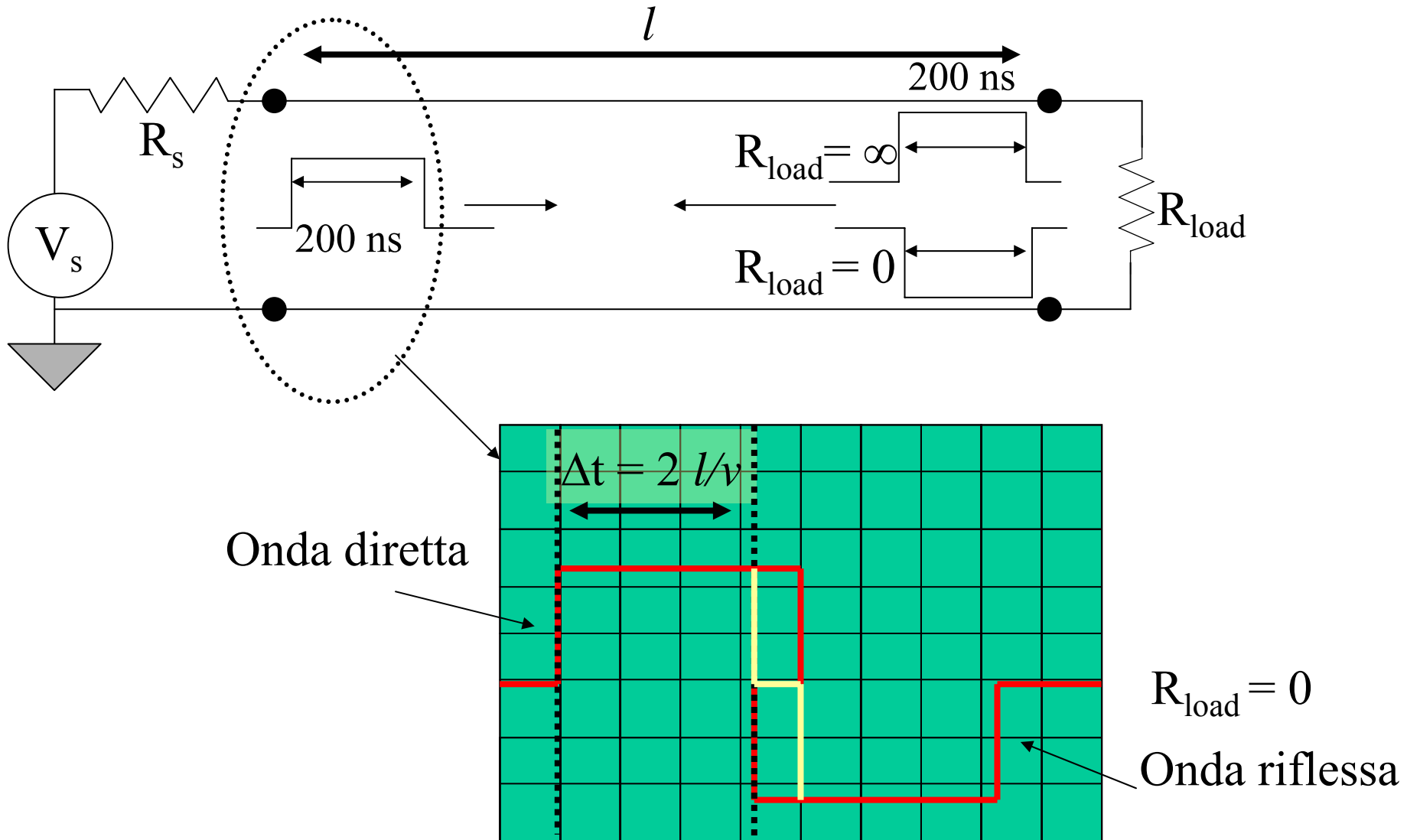
Quindi se $R_{\text{load}} = R_0$ non avremo riflessione.



Cosa osservo all'oscilloscopio ?



E se l'impulso ha una durata maggiore di $2l/v$?



Che succede una volta passato il tempo $2l/v$?

- Abbiamo la sovrapposizione dell'onda diretta e dell'onda riflessa
- Il generatore “sente” il carico all'estremità della linea
- $V(t)/I(t) [t > 2l/v] = (V^+ + V^-) / (I^+ + I^-)$
 - $I^+ = V^+/R_0$, $I^- = -V^-/R_0$
 - $V^- = V^+ \Gamma_{\text{load}}$
- $V(t)/I(t) [t > 2l/v] = V^+(1 + \Gamma_{\text{load}}) / I^+(1 - \Gamma_{\text{load}})$
- $V(t)/I(t) [t > 2l/v] = R_0 * (1 + \Gamma_{\text{load}}) / (1 - \Gamma_{\text{load}})$

La ricomparsa di R_{load}

- $V(t)/I(t) [t > 2l/v] = R_0 * (1 + \Gamma_{\text{load}}) / (1 - \Gamma_{\text{load}})$
 - $\Gamma_{\text{load}} = (R_{\text{load}} - R_0) / (R_{\text{load}} + R_0)$
 - $1 + \Gamma_{\text{load}} = 2 * R_{\text{load}} / (R_{\text{load}} + R_0)$
 - $1 - \Gamma_{\text{load}} = 2 * R_0 / (R_{\text{load}} + R_0)$
- $V(t)/I(t) [t > 2l/v] = R_0 * 2 * R_{\text{load}} / 2 * R_0$

$$V / I = R_{\text{load}}$$

In laboratorio

- Misurare l'impedenza caratteristica della linea
- Misurare la velocità di propagazione del segnale
- Ricavare quindi l'induttanza e la capacità per unità di lunghezza.

Impulsatore

- Deve fornire impulsi brevi cadenzati nel tempo
- Quanto brevi ?
- Con che frequenza di ripetizione ?

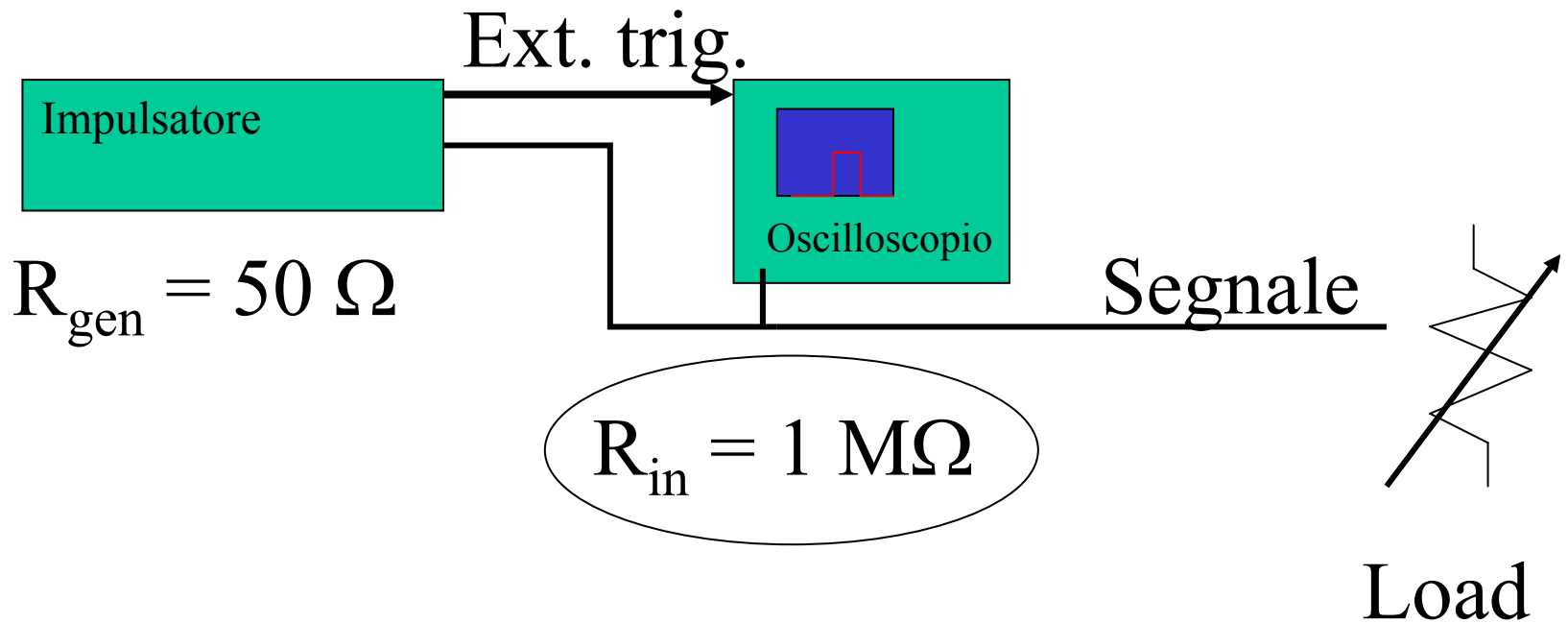


Oscilloscopio

- Capace di visualizzare i segnali (BW)
- Buona precisione della base dei tempi e della scala orizzontale



Schema di connessione



Esperienza

- **In laboratorio:**
- Accensione dell'impulsatore e dell'oscilloscopio.
- Collegate l'uscita di Sync Out (Trig Out) dell'impulsatore, tramite un cavo coassiale, all'ingresso trig ext. (oppure il 3 o 4 canale) dell'oscilloscopio.
- Regolate la soglia di trigger dell'oscilloscopio fino a quando non si accende il LED verde che segnala l'aggancio del trigger.
- Collegate l'uscita del segnale dell'impulsatore tramite un cavo coassiale all'ingresso dell'oscilloscopio.
- Regolate l'insieme impulsatore-oscilloscopio fino a vedere ben visualizzato un impulso di ampiezza di circa 1V e durata MAX di 30 ns. Il periodo di ripetizione dell'impulso deve essere maggiore del tempo stimato di propagazione lungo la linea che useremo per le misure. In pratica $> 1\mu\text{s}$.

Esperienza

- Prendete un dei cavi coassiali a vostra disposizione e misuratene la lunghezza. $L =$

- Collegate il cavo scelto tramite un T all'ingresso dell'oscilloscopio dove è anche collegato l'impulsatore.
- Noterete che l'ampiezza dell'impulso viene attenuata. Perché? **NB. Il generatore ha un'impedenza di uscita di 50 Ohm, l'oscilloscopio ha un'impedenza di ingresso di 1 Mohm.**
- _____
- _____
- _____
- _____
- Avrete anche notato che è comparso un secondo impulso. Misurate il tempo che intercorre tra il primo ed il secondo impulso e ricavate la velocità di propagazione lungo la linea.
- $Dt =$ _____ , $v =$ _____

Esperienza

- Prendete una resistenza variabile multigiro (trimmer) da 1KOhm e saldatelo all'estremo opposto del cavo. Ruotate il trimmer fino ad ottenere la scomparsa del secondo impulso. Descrivete in due parole cosa avviene:

- _____
- _____
- _____
- _____

- Dissaldare il trimmer e misurate il suo valore di resistenza con un ohmmetro. $R =$ _____ . Questo è il valore dell'impedenza della linea.

- Ricavate da v e Z la capacità e l'induttanza per unità di lunghezza del cavo.

- $L =$ _____ , $C =$ _____

- Ripetere la misura con una linea bifilare (twisted pair).

Errori

(strumento ben tarato, errore di sensibilità)

- **NB. Prendete come errore nella misura di Δt la mezza divisione minima dello schermo dell'oscilloscopio (asse dei tempi, scala orizzontale).**
- **Per quanto riguarda la misura dell'impedenza, ruotate il trimmer facendo variare l'ampiezza dell'onda riflessa di una mezza divisione minima (verticale questa volta) dello schermo. Prendete la differenza tra i due valori di R del trimmer come errore della misura.**