

Facoltà di Ingegneria  
Università degli studi di Pavia

Corso di Laurea Triennale in  
Ingegneria Elettronica e Informatica

# Campi Elettromagnetici e Circuiti I

## Adattatori d'impedenza

# Sommario

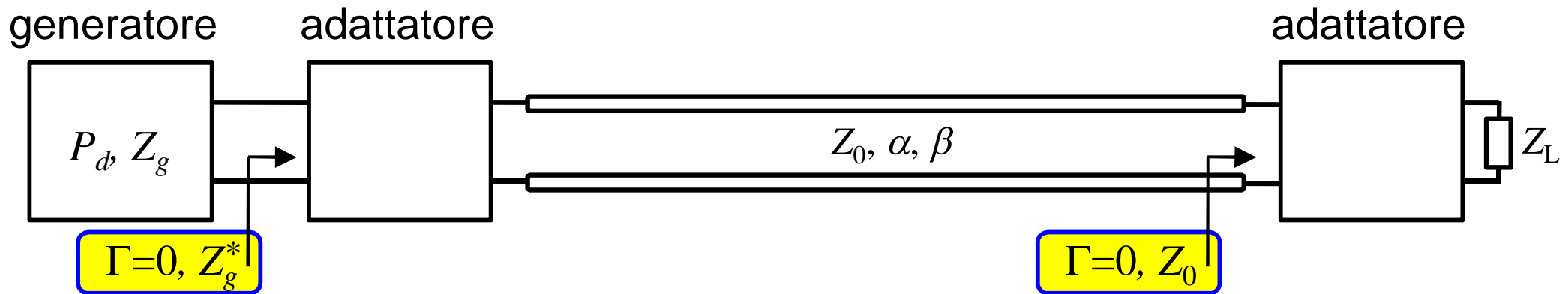
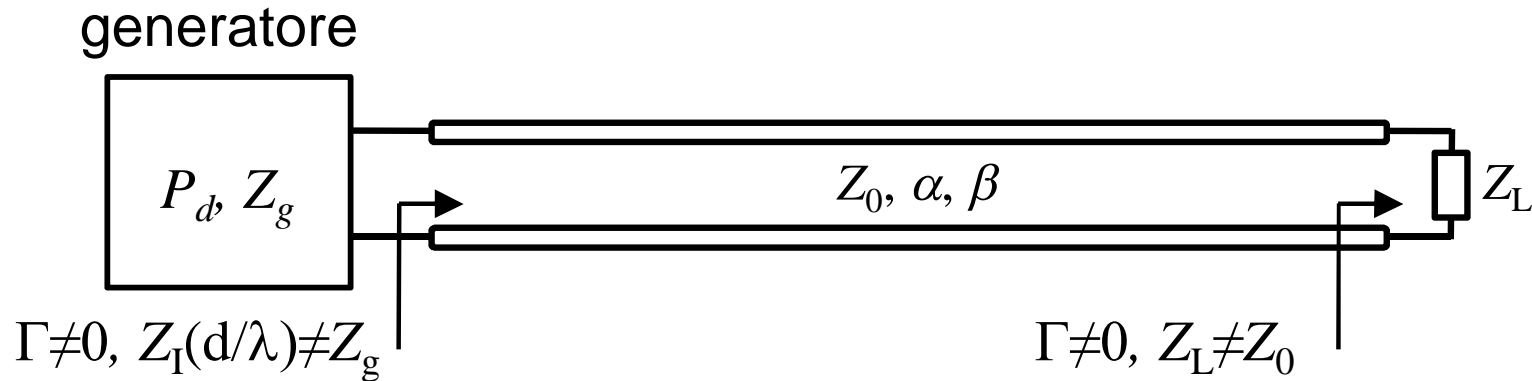
- Introduzione
- Adattatore a componenti discreti
- Adattatore con linea in quarto d'onda
- Adattatore a *singolo stub*

# Adattamento d'impedenza

I motivi per realizzare l'adattamento d'impedenza sono diversi:

- massimizzare la potenza erogata dal generatore
- massimizzare la potenza trasmissibile lungo una linea senza che avvengano scariche o surriscaldamento eccessivi negli impianti di potenza
- rendere l'impedenza vista dal generatore indipendente dalla lunghezza della linea di collegamento, evitando così distorsioni dei segnali per telecomunicazioni.

# Adattamento d'impedenza



L'adattatore deve essere **senza perdite** e **a larga banda**

# Adattamento d'impedenza

Esistono numerosi tipi di adattatori con caratteristiche diverse che li rendono particolarmente adatti a seconda delle frequenze di funzionamento del circuito e della tecnologia utilizzata per realizzarli.

Nel seguito ci si limiterà a presentare e discutere in dettaglio i seguenti tipi di adattatori, per i quali verranno fornite le formule e le tecniche di progetto:

- adattatori a componenti discreti, utilizzando elementi reattivi (L o C) e/o trasformatori
- adattatore con linea di trasmissione in quarto d'onda
- adattatore a singolo *stub*

# Adattatore a componenti discreti

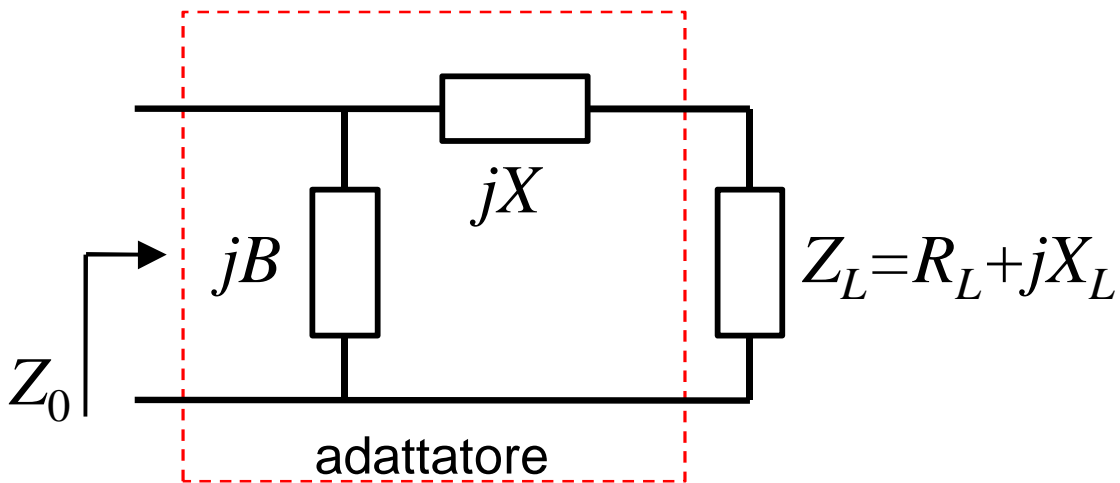
Questo tipo di adattatore si utilizza per **frequenze relativamente basse** (tipicamente al di sotto del GHz).

Per frequenze più alte le **componenti parassite** degli elementi discreti diventano non più trascurabili e ne modificano drasticamente il comportamento.

Inoltre, le **dimensioni dei componenti** possono diventare una frazione significativa della lunghezza d'onda e quindi i fenomeni di variazione di tensione e corrente al loro interno non sono più trascurabili.

Quest'ultima osservazione dipende ovviamente dalla tecnologia utilizzata per realizzare i componenti. Esistono infatti componenti SMD (*Surface Mounting Device*) con dimensioni dell'ordine del millimetro e, nel caso dei circuiti integrati, i componenti discreti hanno dimensioni ancora più piccole, tanto da risultare  $\ll \lambda$  anche a frequenze dell'ordine delle decine di GHz.

# Adattatore a componenti discreti

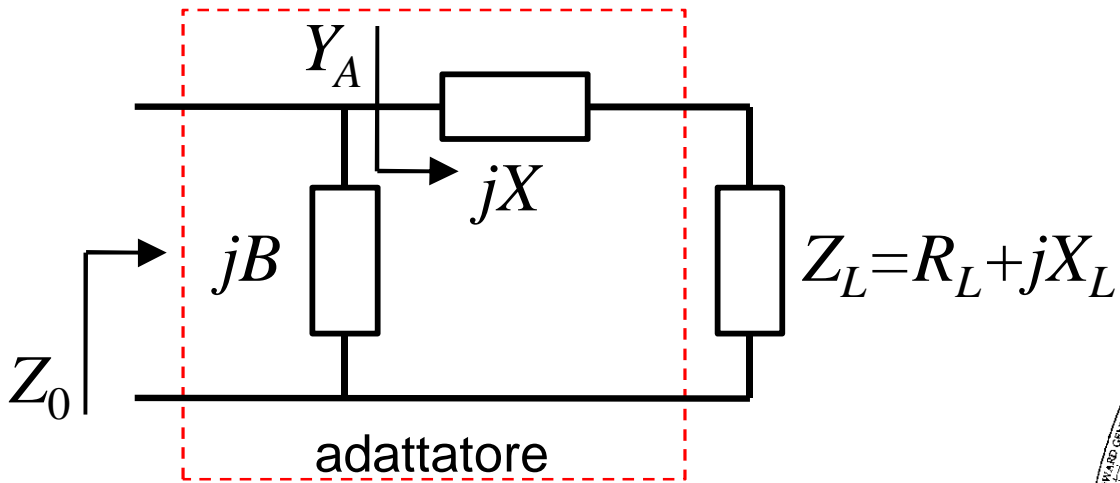


Per realizzare l'adattamento bisogna imporre la condizione: 
$$\frac{1}{R_L + jX_L + jX} + jB = \frac{1}{Z_0}$$

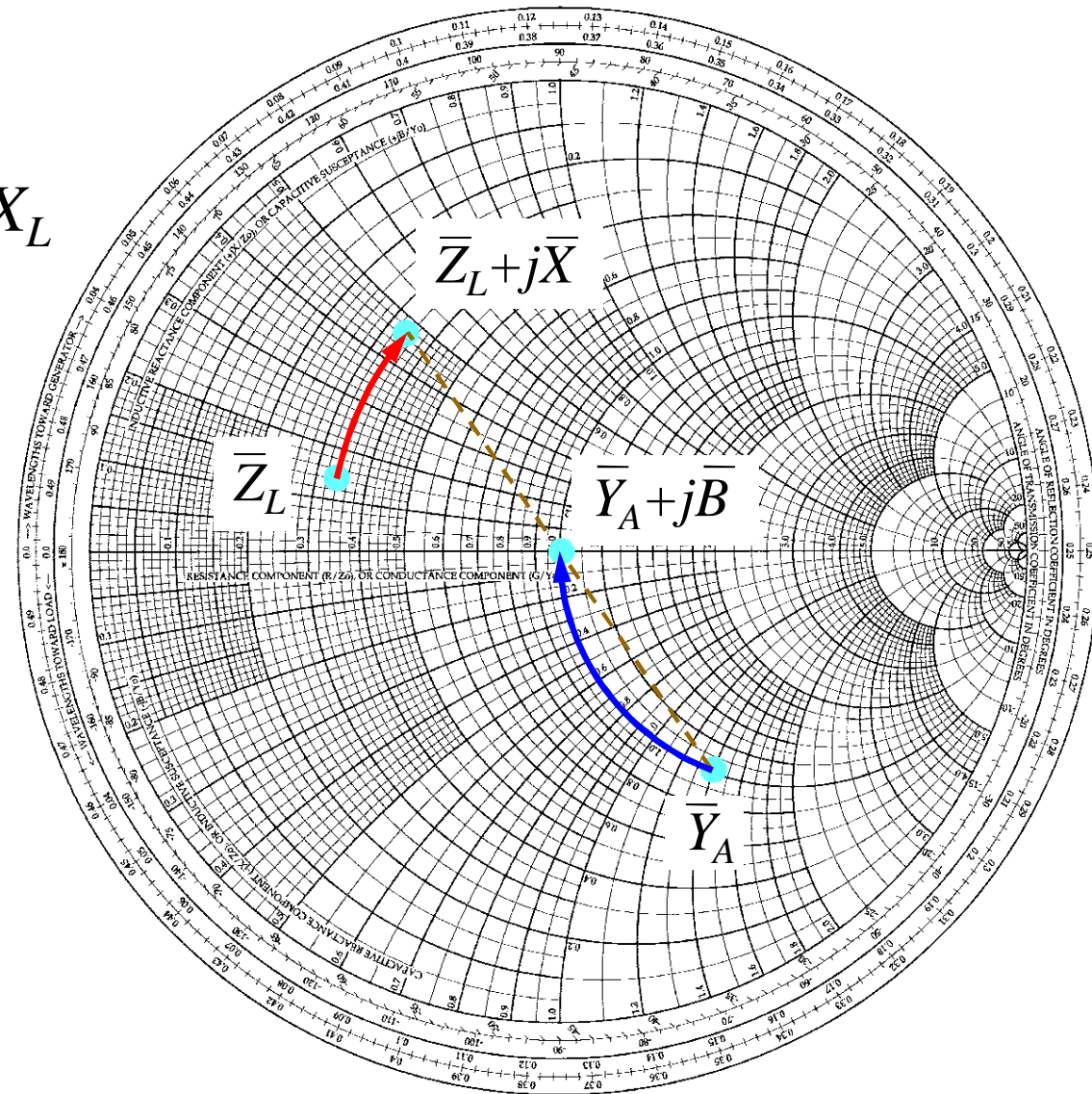
Eguagliando le parti reali e quelle immaginarie si ottiene:

$$\begin{cases} Z_0 - BZ_0(X_L + X) = R_L \\ BZ_0R_L = X_L + X \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} B = \pm \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{Z_0 - R_L}{R_L}} \\ X = -X_L \pm \sqrt{R_L(Z_0 - R_L)} \end{cases}$$

# Adattatore a componenti discreti

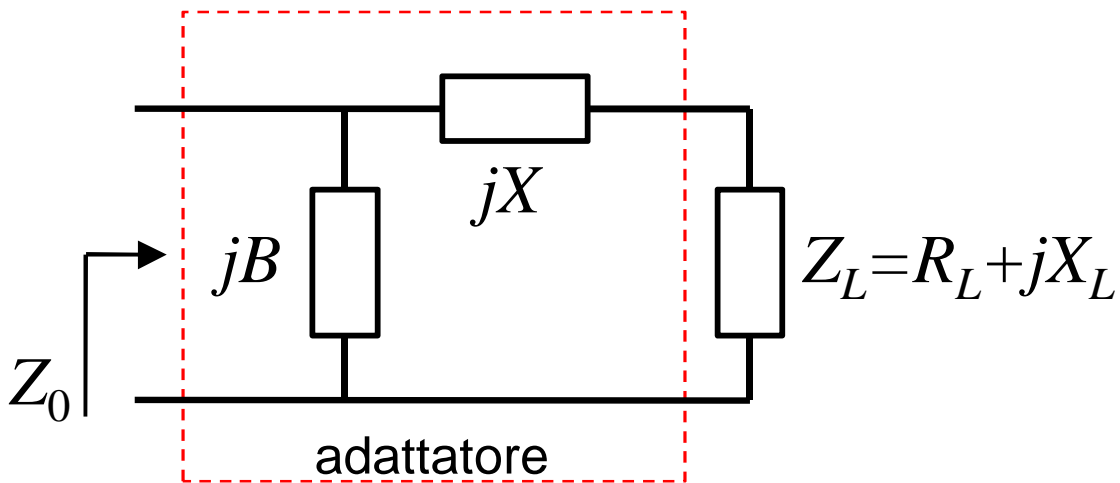


Interpretazione grafica





# Adattatore a componenti discreti



$$\begin{cases} B = \pm \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{Z_0 - R_L}{R_L}} \\ X = -X_L \pm \sqrt{R_L(Z_0 - R_L)} \end{cases}$$

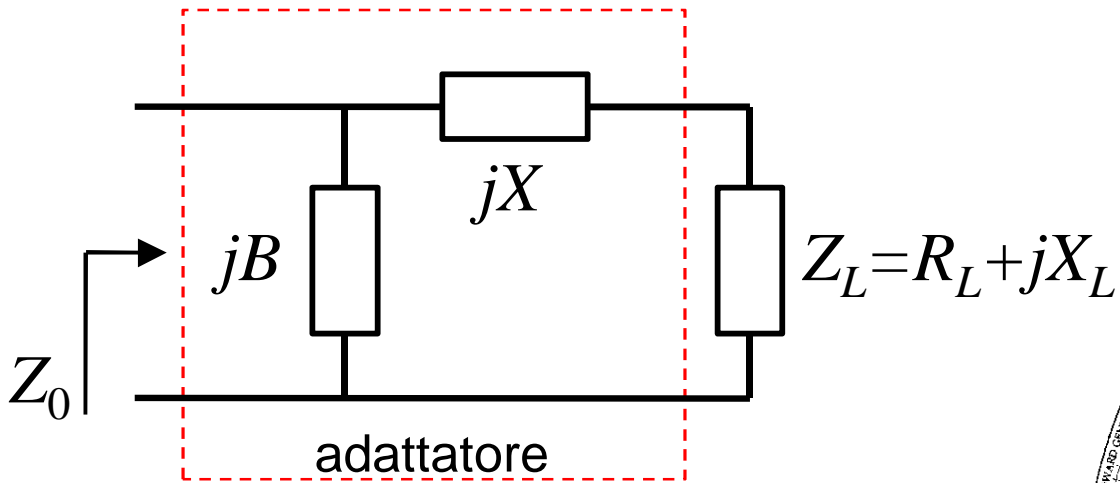
E' evidente che si ottengono valori realizzabili (cioè reali) per  $B$  e  $X$  se e solo se

$$R_L \leq Z_0$$

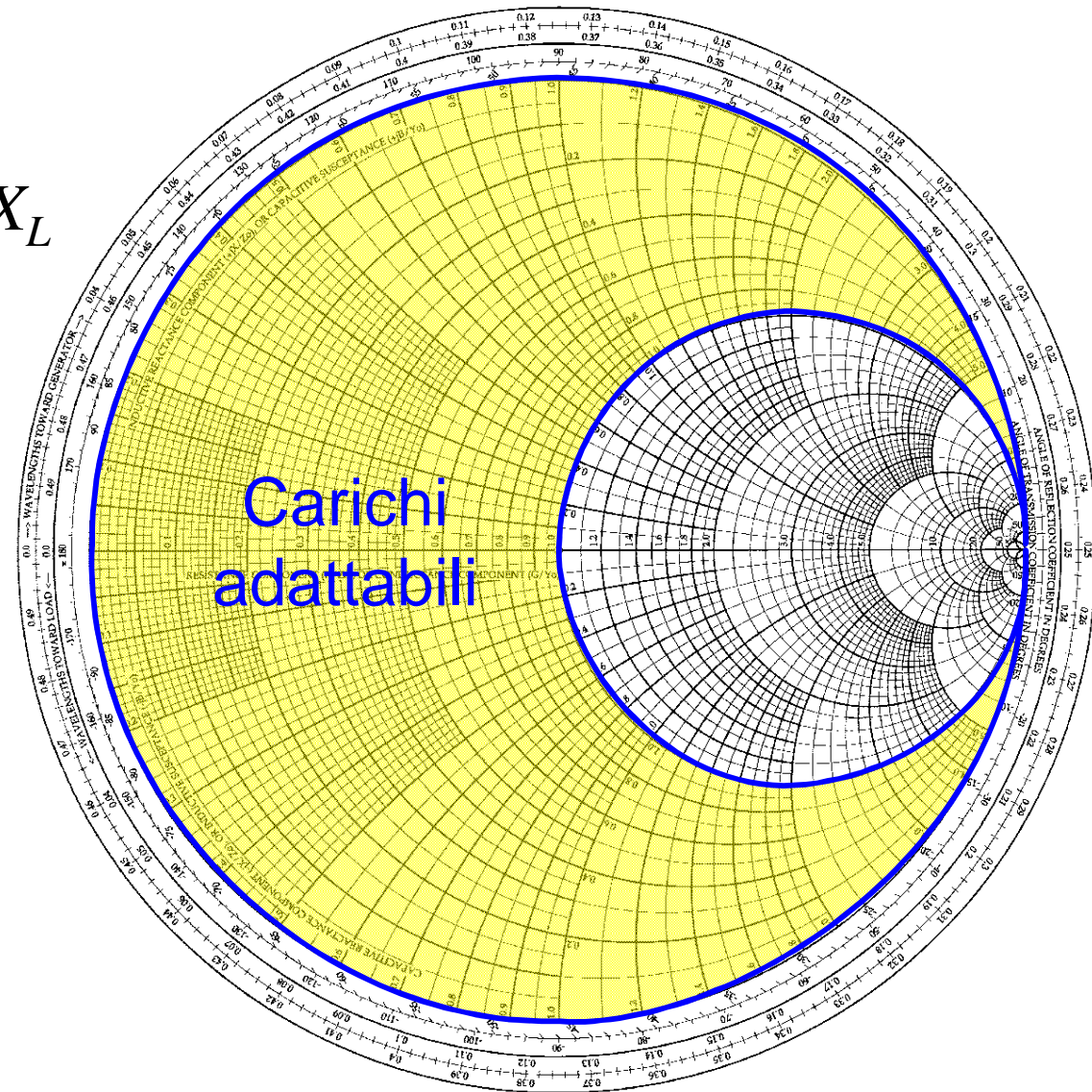
Si nota che  $B$  e  $X$  possono assumere sia valori positivi che negativi. Si ricorda che gli elementi discreti che realizzano tali valori sono i seguenti:

$B > 0$	$B < 0$	$X > 0$	$X < 0$
$C = B / \omega$	$L = -1/(\omega B)$	$L = X / \omega$	$C = -1/(\omega X)$

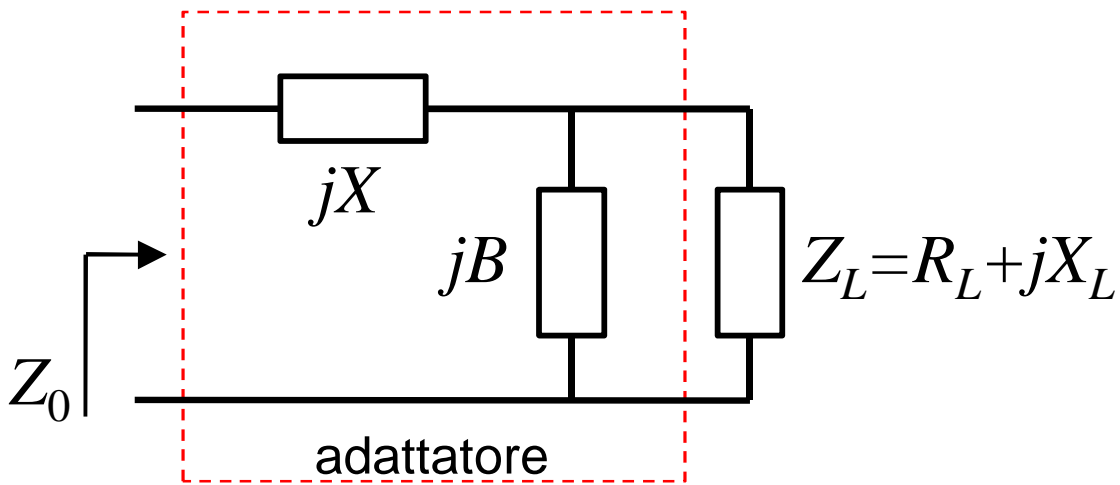
# Adattatore a componenti discreti



$$R_L \leq Z_0$$



# Adattatore a componenti discreti



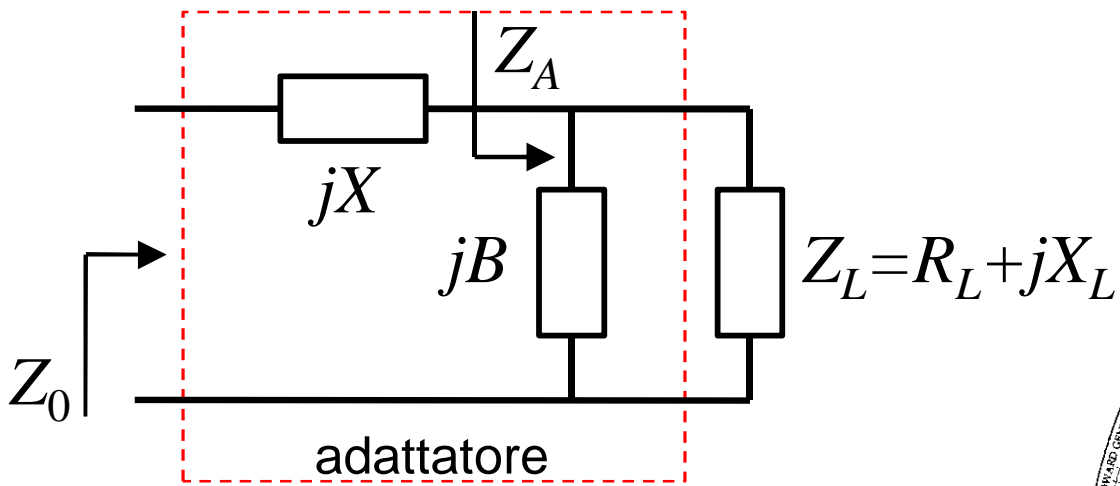
Per realizzare l'adattamento bisogna imporre la condizione:

$$jB + \frac{1}{R_L + jX_L} + jX = Z_0$$

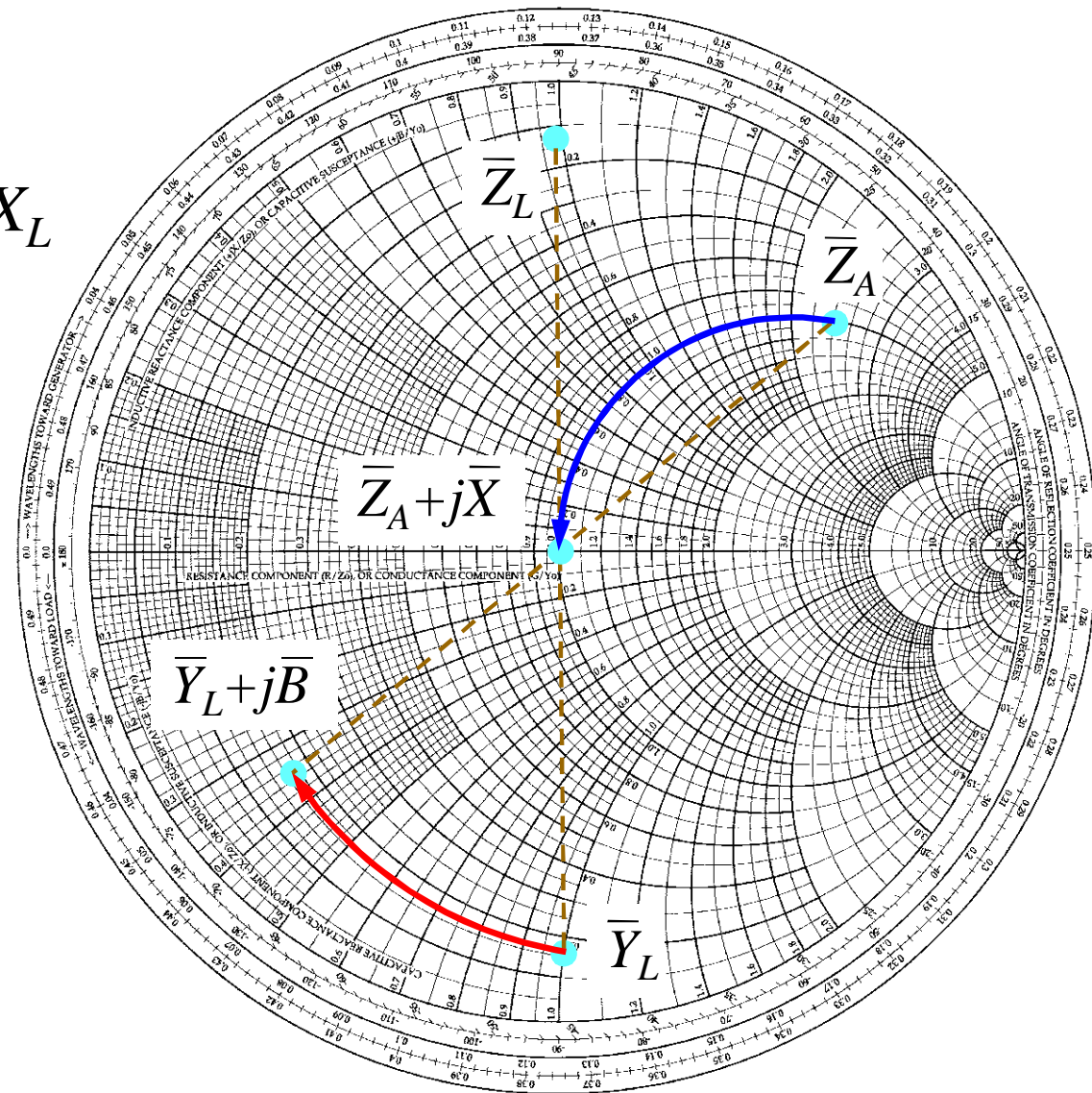
Eguagliando le parti reali e quelle immaginarie si ottiene:

$$\begin{cases} R_L - BXR_L = Z_0 - Z_0BX_L \\ X_L + X - XBX_L = BR_LZ_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} B = \frac{X_L \pm \sqrt{R_L/Z_0} \sqrt{R_L^2 + X_L^2 - R_LZ_0}}{R_L^2 + X_L^2} \\ X = -\frac{1}{B} \left( 1 - \frac{Z_0}{R_L} \right) + X_L \frac{Z_0}{R_L} \end{cases}$$

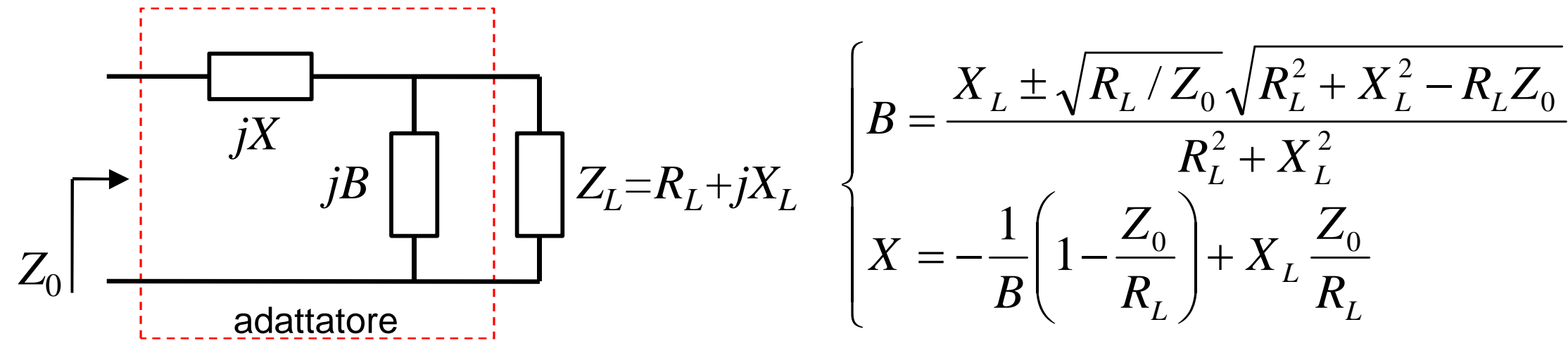
# Adattatore a componenti discreti



Interpretazione grafica



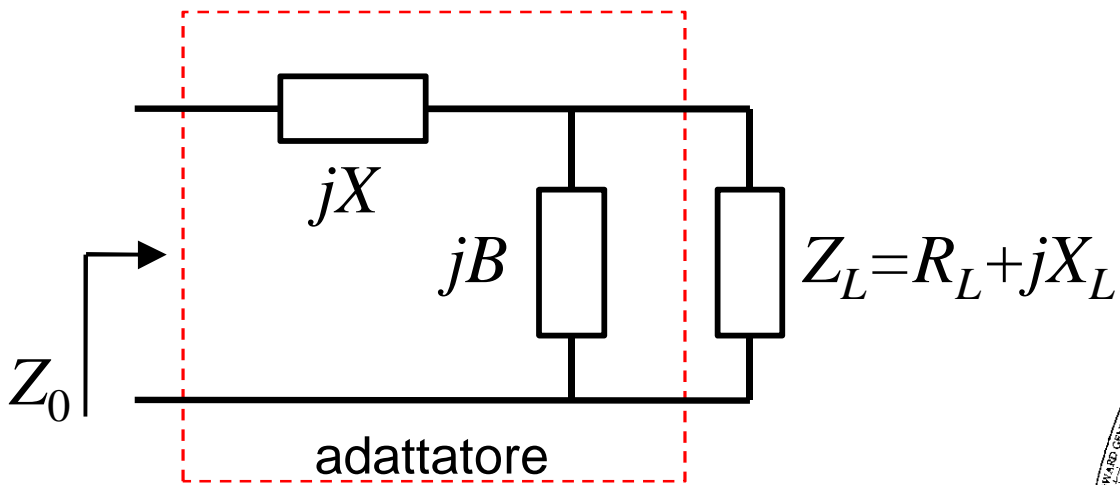
# Adattatore a componenti discreti



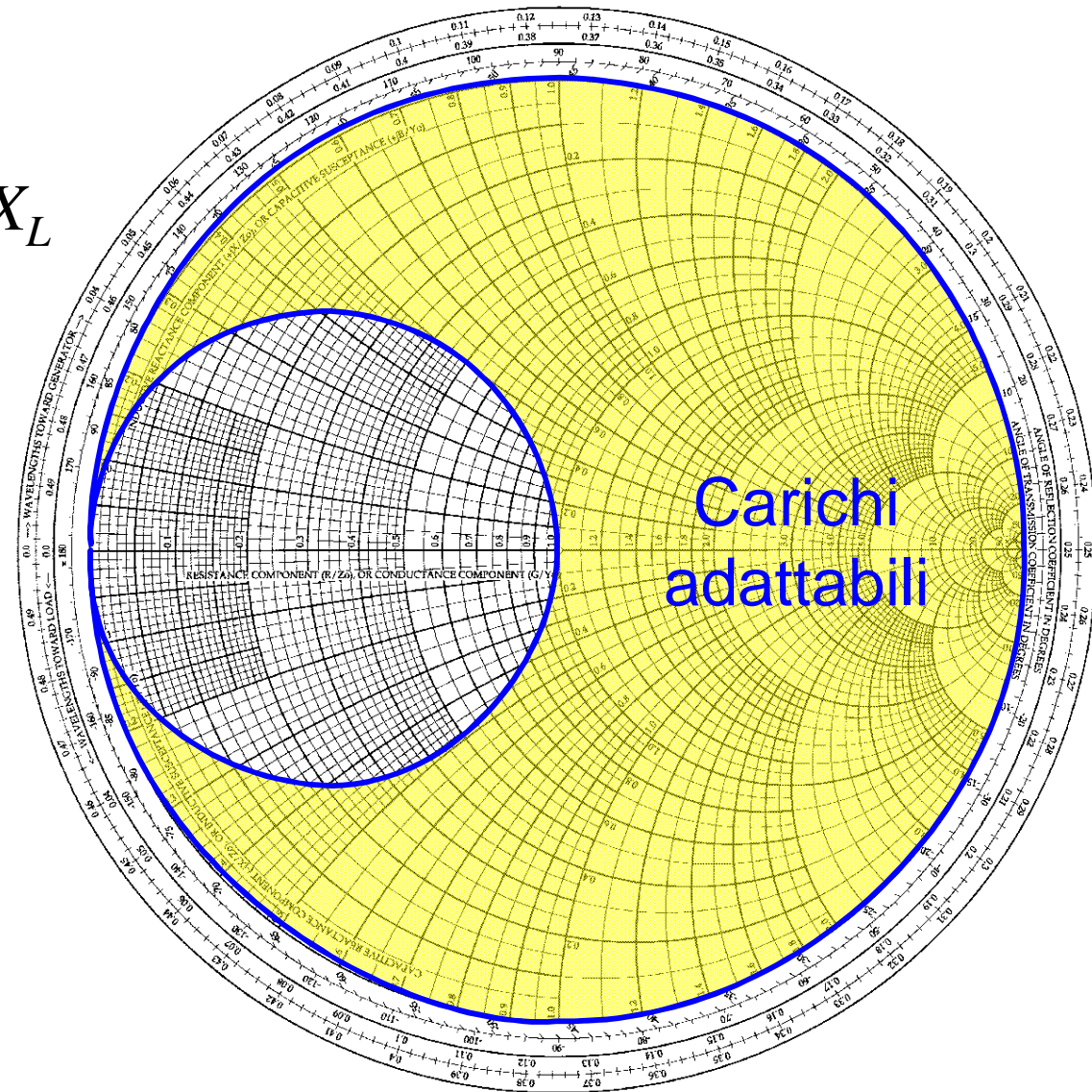
Imponendo  $R_L^2 + X_L^2 - R_L Z_0 > 0$  si determinano gli intervalli di  $R_L$  e  $X_L$  per i quali i valori di  $B$  e  $X$  sono fisicamente realizzabili (cioè reali) :

$$\begin{cases} \forall R_L \\ R_L < \frac{Z_0}{2} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2X_L}{Z_0} \right)^2} \right] \cup R_L > \frac{Z_0}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{2X_L}{Z_0} \right)^2} \right] \end{cases} \begin{cases} \text{se } |X_L| \geq \frac{Z_0}{2} \\ \text{se } |X_L| < \frac{Z_0}{2} \end{cases}$$

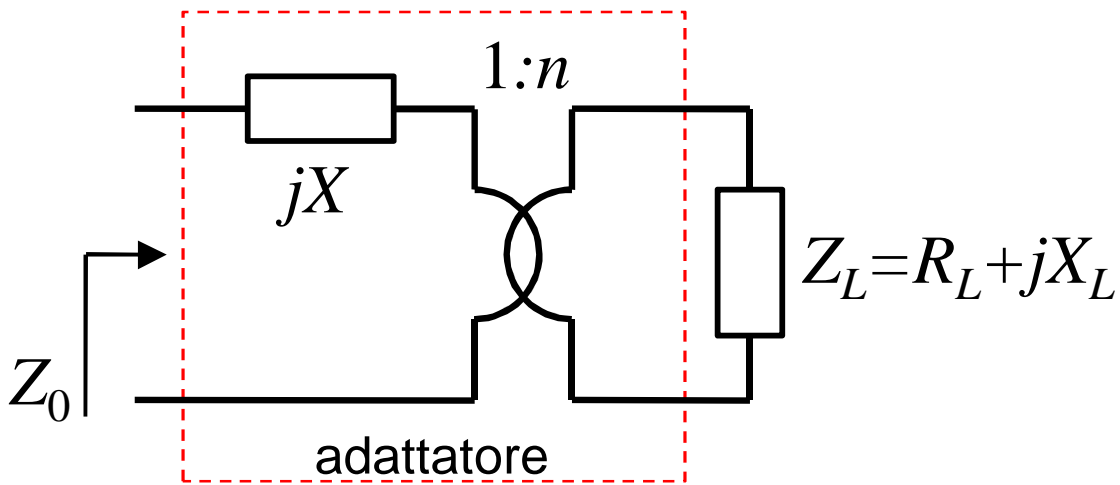
# Adattatore a componenti discreti



$$\left\{ \begin{array}{l} \forall R_L \\ R_L < \frac{Z_0}{2} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2X_L}{Z_0} \right)^2} \right] \\ R_L > \frac{Z_0}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{2X_L}{Z_0} \right)^2} \right] \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{se } |X_L| \geq \frac{Z_0}{2} \\ \text{se } |X_L| < \frac{Z_0}{2} \end{array}$$



# Adattatore a componenti discreti

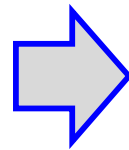


Per realizzare l'adattamento bisogna imporre la condizione:

$$jX + \frac{R_L + jX_L}{n^2} = Z_0$$

Eguagliando le parti reali e quelle immaginarie si ottiene:

$$\begin{cases} \frac{R_L}{n^2} = Z_0 \\ X + \frac{X_L}{n^2} = 0 \end{cases}$$

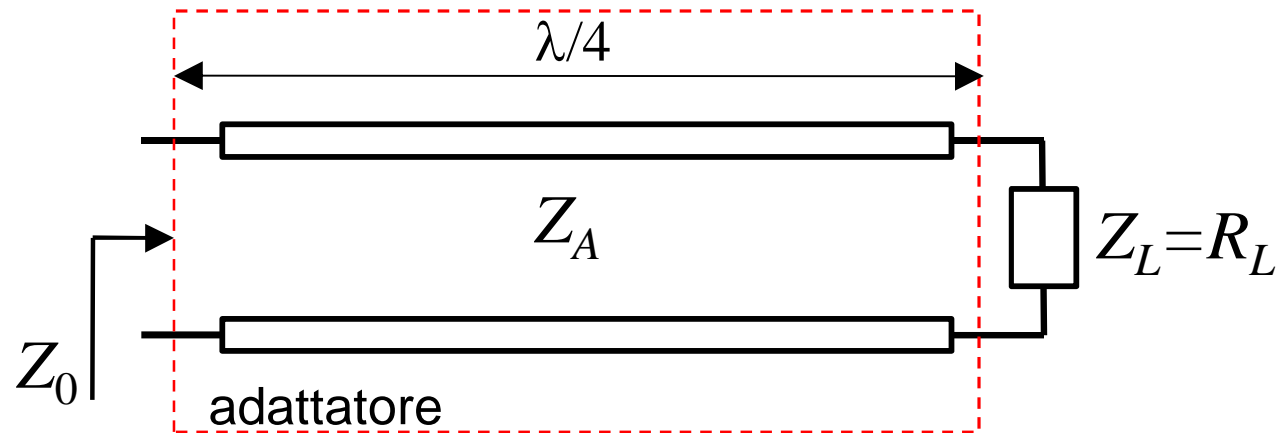


$$\begin{cases} n = \sqrt{\frac{R_L}{Z_0}} \\ X = -\frac{X_L}{n^2} = -\frac{X_L}{R_L} Z_0 \end{cases}$$

Può adattare qualunque tipo di carico.

# Adattatore con linea in quarto d'onda

Se il **carico** è **puramente resistivo** si può utilizzare come adattatore una linea  $\lambda/4$ .



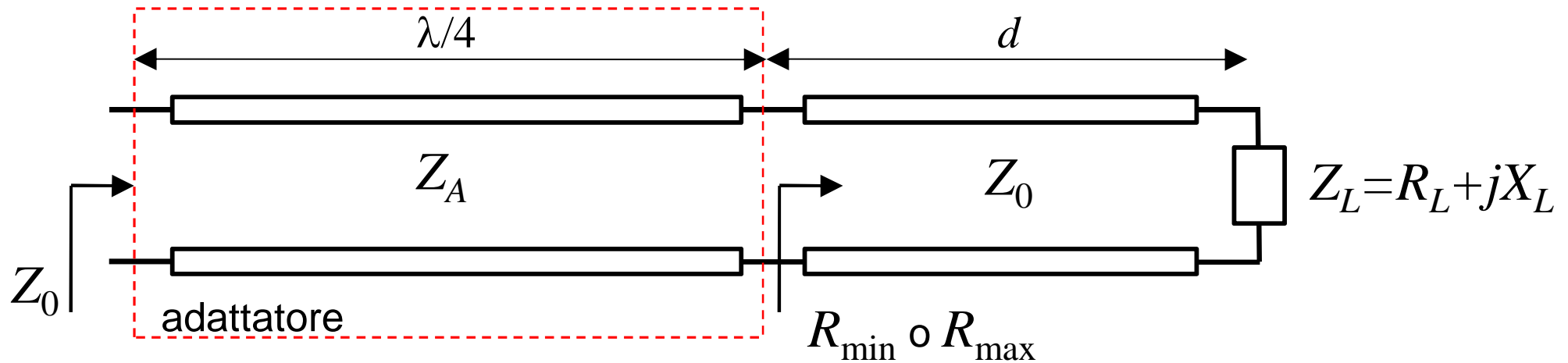
Per realizzare l'adattamento bisogna imporre la condizione:  $\frac{Z_A^2}{R_L} = Z_0$

Da cui si ricava:  $Z_A = \sqrt{Z_0 R_L}$



# Adattatore con linea in quarto d'onda

Se il **carico non è puramente resistivo** si può comunque utilizzare come adattatore una linea  $\lambda/4$ .



Per realizzare l'adattamento è necessario trovare la sezione nella quale l'impedenza d'onda è reale (massima o minima). Si impone quindi la condizione

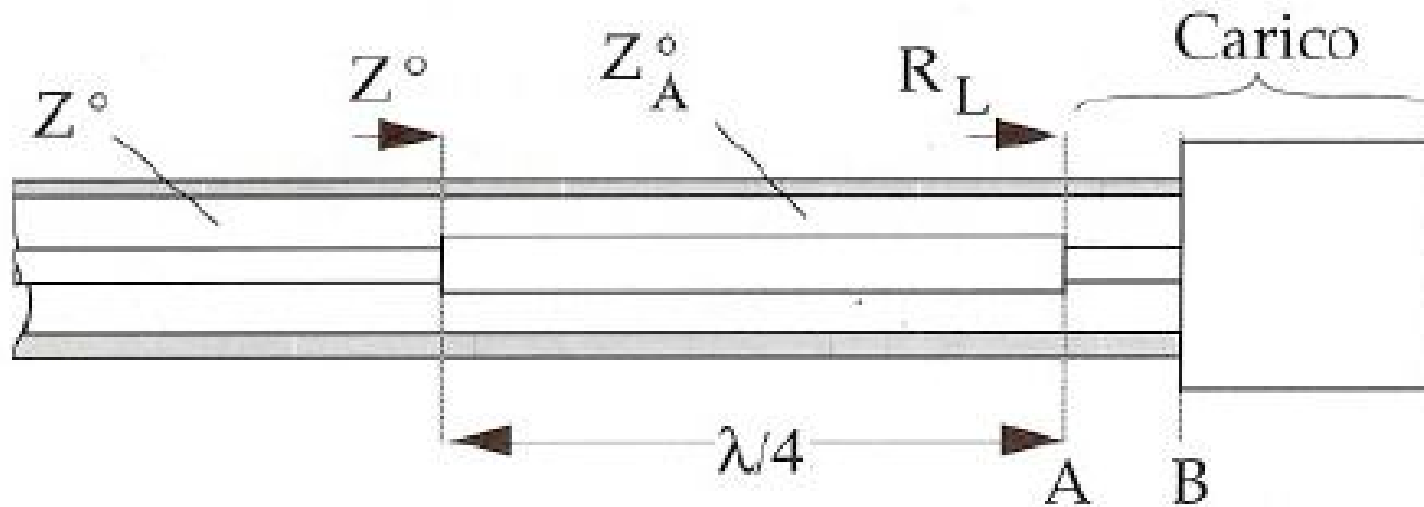
$$\frac{Z_A^2}{R_{\min}} = Z_0 \quad \Rightarrow \quad Z_A = \sqrt{Z_0 R_{\min}} = \sqrt{Z_0 \frac{Z_0}{ROS}} = \frac{Z_0}{\sqrt{ROS}}$$

oppure

$$\frac{Z_A^2}{R_{\max}} = Z_0 \quad \Rightarrow \quad Z_A = \sqrt{Z_0 R_{\max}} = \sqrt{Z_0 Z_0 ROS} = Z_0 \sqrt{ROS}$$

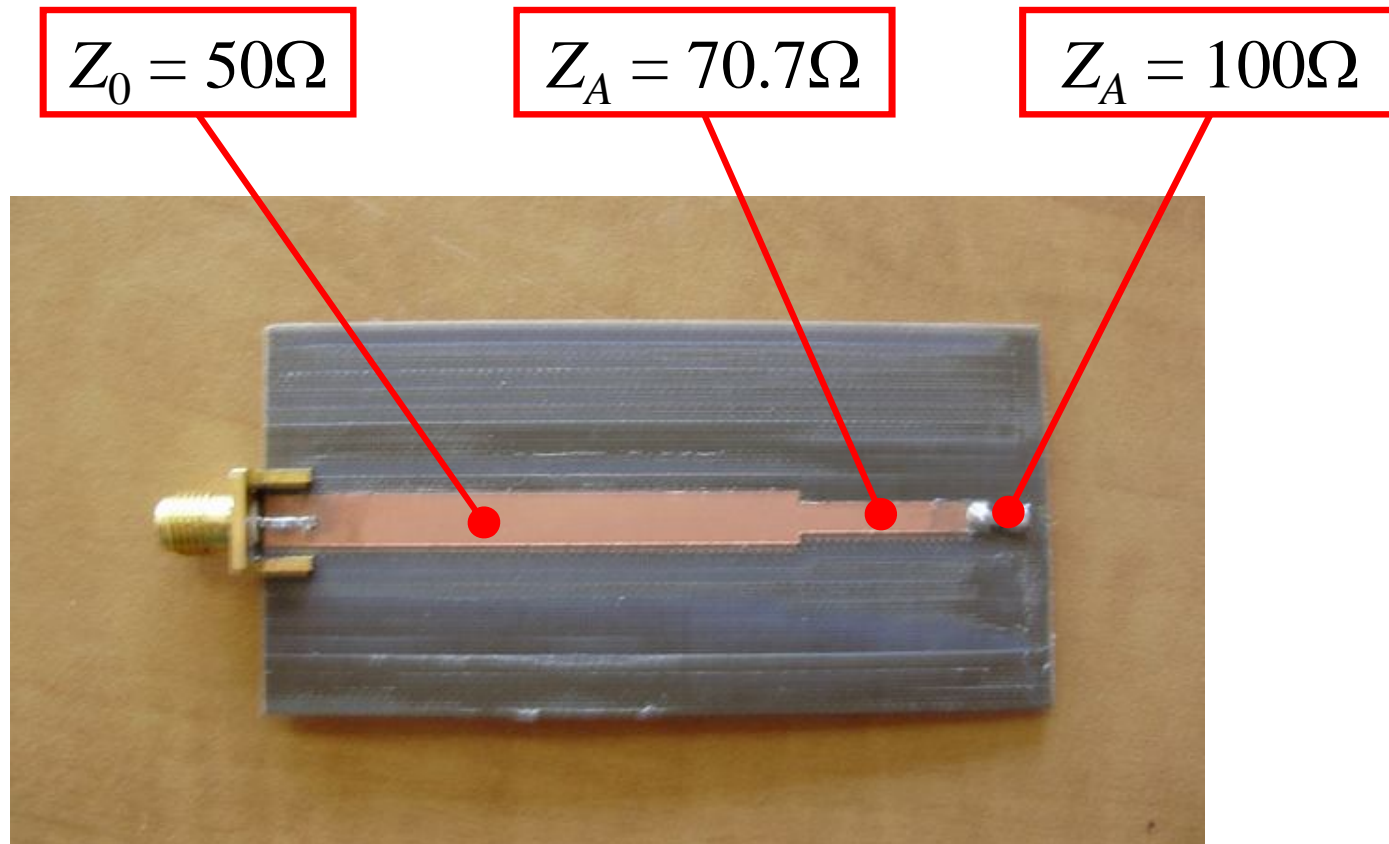
# Adattatore con linea in quarto d'onda

Esempio di adattatore in quarto d'onda realizzato in cavo coassiale modificando il diametro del conduttore interno:

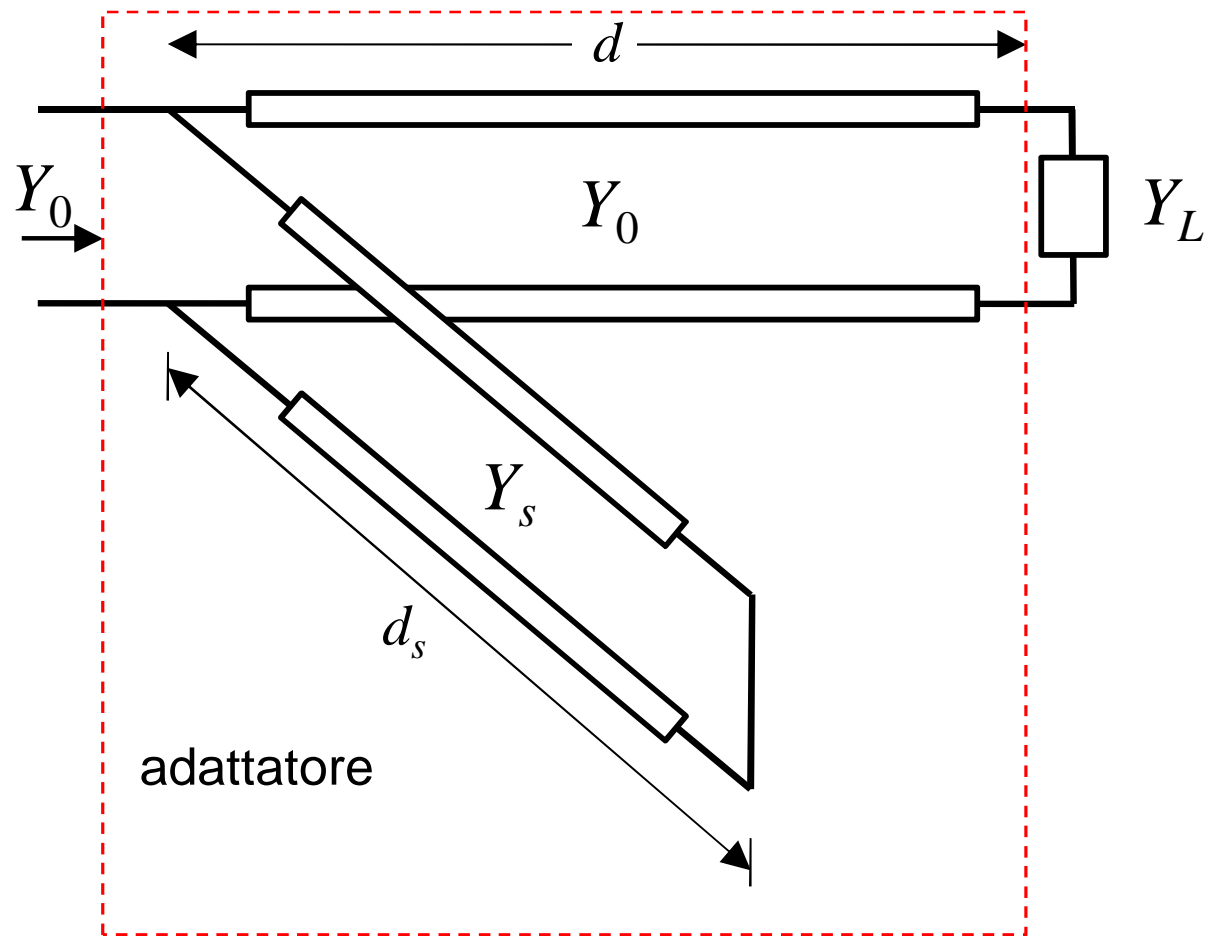


# Adattatore con linea in quarto d'onda

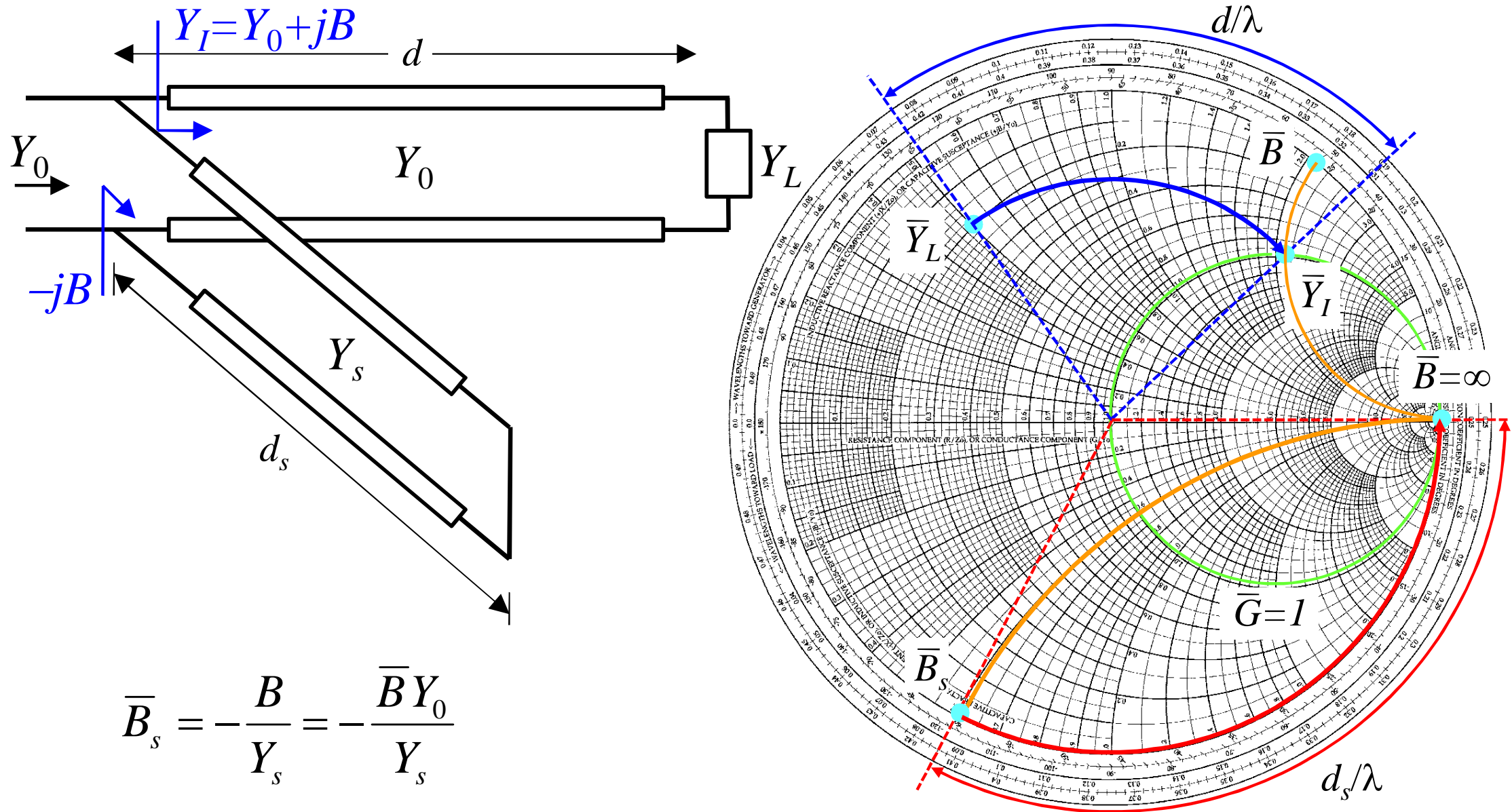
Esempio di adattatore in quarto d'onda realizzato in microstriscia modificando la larghezza della linea:



# Adattatore a singolo *stub*



# Adattatore a singolo stub



# Adattatore a singolo *stub*

Esempio di adattatore a singolo *stub* realizzato in microstriscia e in cavo coassiale:

