

Perché abbiamo studiato i segnali sinusoidali?



Perché nelle telecomunicazioni le informazioni viaggiano attraverso segnali in gran parte sinusoidali. Si ricorda che anche i segnali periodici non sinusoidali possono essere scomposti in somme di sinusoidi.

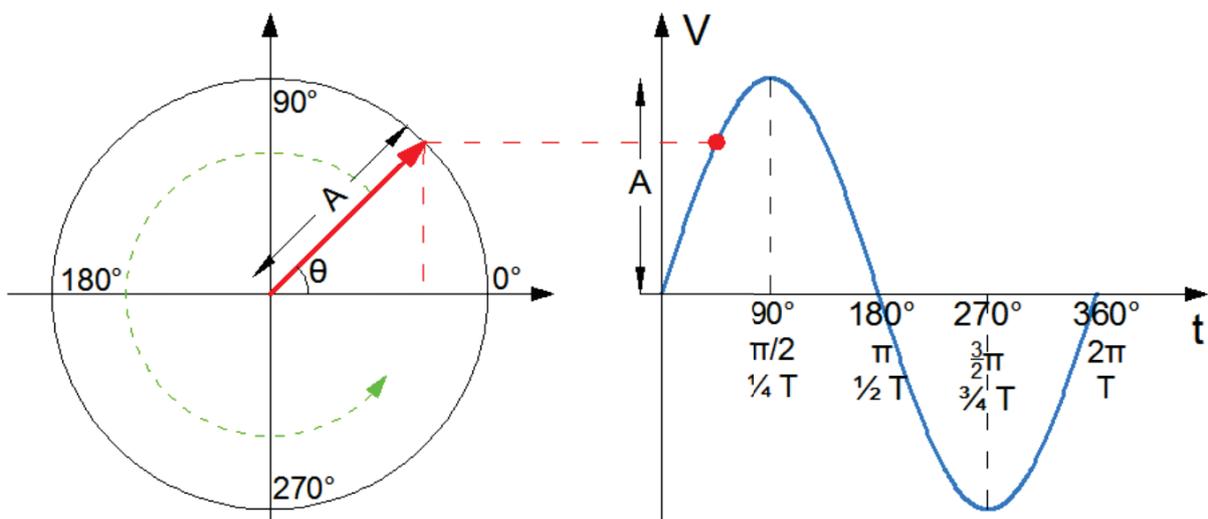
Tutti i circuiti elettronici che elaborano i segnali devono quindi lavorare con segnali di tipo sinusoidale (tensione alternata - AC).

In tensione alternata (AC) valgono ancora le regole per i circuiti in tensione continua (DC) studiate al secondo anno?



1) Tensione e corrente

I concetti di tensione e corrente restano invariati, però in AC entrambe hanno forma sinusoidale. Siccome è abbastanza complesso fare calcoli con le sinusoidi si preferisce esprimerle come dei particolari vettori che si chiamano "FASORI". Tensione e corrente sono quindi caratterizzate da una frequenza, un'ampiezza (chiamata "modulo") e una fase. Per rappresentare i fasori si utilizzano i cosiddetti "numeri complessi".



2) Legge di Ohm

La legge di Ohm continua ad essere valida, però tensione corrente sono diventate sinusoidi. Il loro rapporto non si chiama più "resistenza" ma "impedenza" ed è anch'essa un fasore (si capisce dalla freccina sopra).

IN CONTINUA (DC)

$$R = \frac{V}{I}$$

↓
RESISTENZA [Ω]

IN ALTERNATA (AC)

$$\vec{Z} = \frac{\vec{V}}{\vec{I}}$$

TENSIONE [V]
CORRENTE [A]

↓
IMPEDENZA [Ω]

Anche la conduttanza cambia nome e si chiama "ammettenza".

IN CONTINUA (DC)

$$G = \frac{1}{R}$$

↓
CONDUTTANZA [S]

IN ALTERNATA (AC)

$$\vec{Y} = \frac{1}{\vec{Z}}$$

↓
AMMETTENZA [S]

3) Leggi di Kirchhoff, serie e parallelo, ecc ecc

Tutte le leggi già studiate per la continua continuano a valere per l'alternata, sempre considerando che i calcoli sono generalmente più difficili perchè tutte le grandezze sono fasori cioè "numeri complessi".

Sarà necessario risolvere difficili circuiti in alternata?



No. Nel mondo delle telecomunicazioni la maggior parte dei circuiti è già stata calcolata da chi li ha ideati. Basterà quindi utilizzare opportunamente i loro risultati per progettare un sistema di telecomunicazione a regola d'arte. Il metodo si basa sull'utilizzo dei "quadripoli".

Una rete di telecomunicazione è composta da svariati circuiti collegati tra loro in cascata dal mittente al destinatario.

ESEMPIO DI UN TRASMETTITORE RADIO:



I circuiti si dividono in tre categorie in base al numero di morsetti coi quali si collegano al resto del circuito:

- Monopoli: 1 morsetto
- Bipoli: 2 morsetti
- Quadripoli: 4 morsetti

La stragrande maggioranza dei circuiti nelle telecomunicazioni sono quadripoli, come si vede dallo schema a blocchi sopra. I circuiti a 3 poli sono considerati sempre quadripoli (il 4° polo coincide col 3°).

I quadripoli sono anche detti circuiti a "2 porte", infatti hanno una porta di ingresso dei segnali (i due morsetti a sinistra) e una porta di uscita (i due a destra).

Perché si usano i quadripoli?



L'impiego dei quadripoli è molto utile per rappresentare i circuiti tramite schemi sblocchi. In questo modo è possibile studiare circuiti molto complessi suddividendoli in circuiti più semplici e studiandoli separatamente.

Com'è possibile studiarli separatamente?

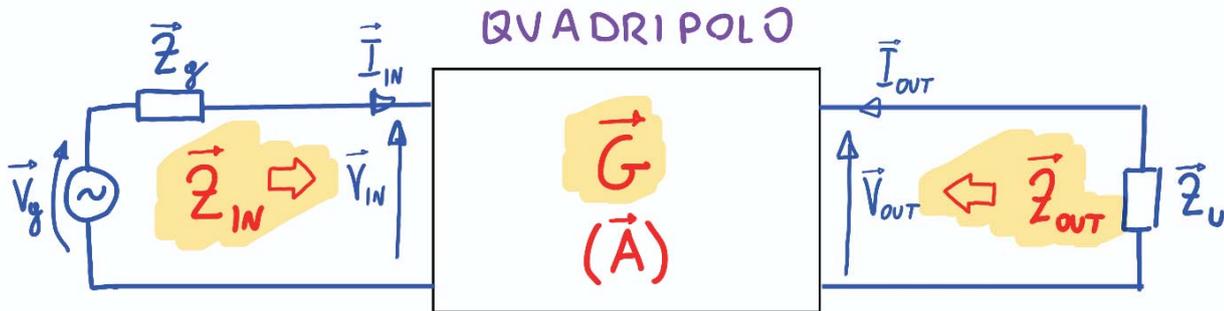
Se i circuiti sono collegati ciascuno influenza anche gli altri!



È vero, però con alcune accortezze progettuali è possibile fare in modo che ciascun blocco influenzi solo il blocco che lo segue e quasi per niente quello che lo precede. In questo modo si può studiare tutta la catena partendo dal primo fino all'ultimo.

SCHEMA E CARATTERISTICHE DEI QUADRIPOLI

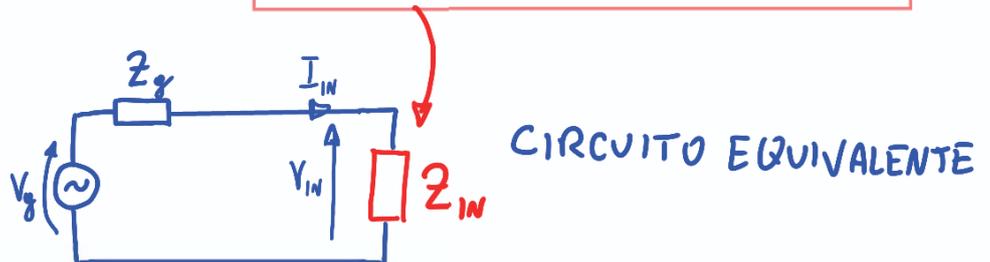
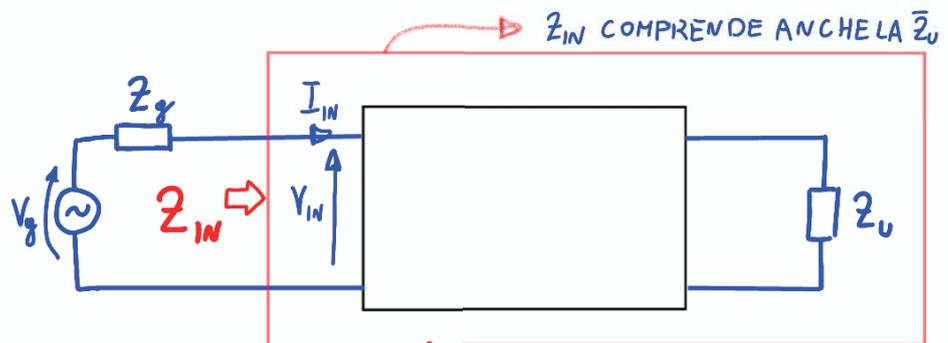
Il circuito interno di un quadripolo potrebbe contenere migliaia di componenti ma dall'esterno i 3 parametri rossi sono sufficienti per comprenderne a pieno il funzionamento.



ATTENZIONE! Tutte le grandezze in gioco sono fasori, però per semplicità d'ora in poi non si scriveranno più le frecce. Bisogna però ricordarsi che ognuna è composta da modulo e fase.

1) Impedenza di ingresso:

$$Z_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}}$$

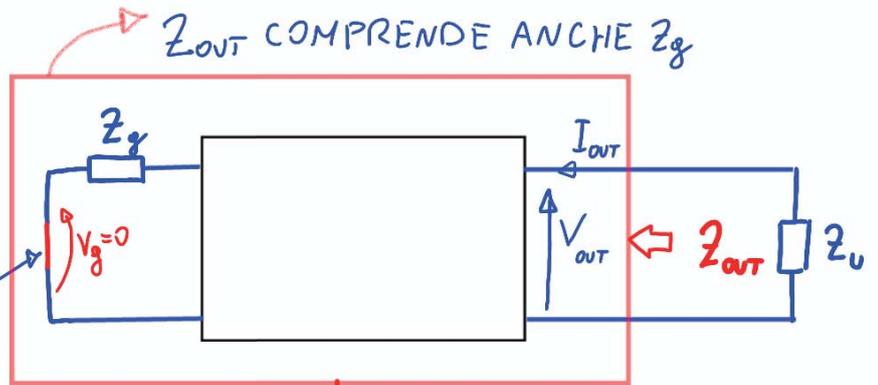


L'impedenza di ingresso è il rapporto tra la tensione e la corrente di ingresso. La Z_{in} è l'impedenza che viene vista dai circuiti a monte, come se all'ingresso del quadripolo ci fosse collegata proprio Z_{in} .

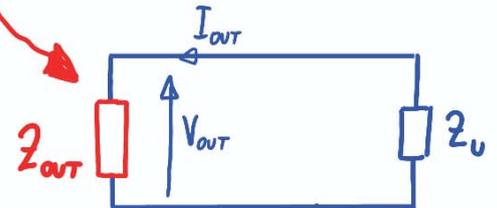
2) Impedenza di uscita:

$$Z_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}}$$

CALCOLATO
ANNULLANDO
I GENERATORI
IN INGRESSO
(COME R_{TH} PER THEVENIN)



CIRCUITO EQUIVALENTE



L'impedenza di uscita è il rapporto tra la tensione e la corrente di uscita calcolato quando non vi sono generatori in ingresso. La Z_{out} è l'impedenza che viene vista dai circuiti a valle, come se all'uscita del quadripolo ci fosse collegata proprio Z_{out} .

3) Guadagno e Attenuazione

$$G_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$$

GUADAGNO DI
TENSIONE

IN (dB) →

$$G_{V_{dB}} = 20 \log \left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right) = V_{OUT_{dB}} - V_{IN_{dB}}$$

$$G_P = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$$

GUADAGNO DI
POTENZA

IN (dB) →

$$G_{P_{dB}} = 10 \log \left(\frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \right) = P_{OUT_{dB}} - P_{IN_{dB}}$$

Il guadagno di tensione è il rapporto tra la tensione in uscita e la tensione in ingresso. Il guadagno di potenza è il rapporto tra la potenza in uscita e la potenza in ingresso.

I guadagni possono essere espressi in unità lineari oppure (più frequentemente) in decibel (dB).

Se $G > 1$ (quindi se $G_{dB} > 0$ dB): la tensione/potenza di uscita è maggiore di quella di ingresso = **AMPLIFICATORE**.

Se $G < 1$ (quindi se $G_{dB} < 0$ dB): la tensione/potenza di uscita è minore di quella di ingresso = **ATTENUATORE**.

Spesso, nel caso degli attenuatori, invece che usare il guadagno si utilizza la grandezza opposta che si chiama **ATTENUAZIONE (A)**.

$$A_V = \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} = \frac{1}{G_V}$$

ATTENUAZIONE DI
TENSIONE

IN dB →

$$A_{V_{dB}} = 20 \log \left(\frac{V_{IN}}{V_{OUT}} \right) = \\ = V_{IN_{dB}} - V_{OUT_{dB}} = -G_V$$

$$A_P = \frac{P_{IN}}{P_{OUT}} = \frac{1}{G_P}$$

ATTENUAZIONE DI
POTENZA

IN dB →

$$A_{P_{dB}} = 10 \log \left(\frac{P_{IN}}{P_{OUT}} \right) = \\ = P_{IN_{dB}} - P_{OUT_{dB}} = -G_P$$

Nel caso in cui i quadripoli siano tra collegati in cascata, il GUADAGNO TOTALE si calcola così:

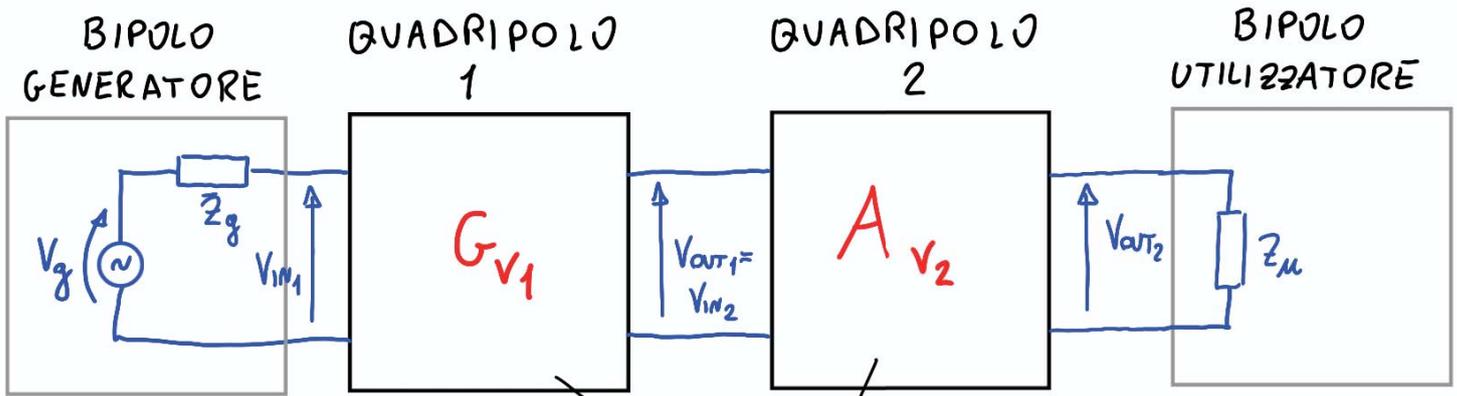
- se si utilizzano unità lineari, occorre fare il prodotto dei guadagni fratto il prodotto delle attenuazioni:

$$G_{TOT} = \frac{G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot \dots}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \dots}$$

- se si utilizzano i dB, occorre fare la somma dei guadagni e la sottrazione delle attenuazioni:

$$G_{TOT} = G_1 + G_2 + G_3 + \dots - A_1 - A_2 - A_3 - \dots$$

ESEMPIO (SU GUADAGNO E ATTENUAZIONE)



$$G_{V1} = 18 \text{ dB}$$

$$A_{V2} = 5 \text{ dB}$$

$$V_{IN1} = 3 \text{ mV}$$

$$G_{V_{TOT}} = ?$$

$$V_{OUT2} = ?$$



Per calcolare il guadagno totale, essendo i guadagni in dB, basta fare:

$$G_{V_{TOT}} = G_{V1} - A_{V2} = 18 - 5 = 13 \text{ dB}$$

Per il calcolo di V2 conviene ragionare in dB e quindi convertire V1:

$$V_{IN1, \text{dBmV}} = 20 \log 3 = 9,5 \text{ dBmV}$$

Per calcolare V2 in dBmV basta applicare la formula inversa del guadagno:

$$G_{TOT, \text{dB}} = V_{OUT2, \text{dBmV}} - V_{IN1, \text{dBmV}} \rightarrow V_{OUT2, \text{dBmV}} = V_{IN1, \text{dBmV}} + G_{TOT, \text{dB}} = 9,5 + 13 = 22,5 \text{ dBmV}$$

Infine si riconverte in unità lineari:

$$V_{OUT2} = 10^{22,5/20} = 13,3 \text{ mV}$$

ADATTAMENTO D'IMPEDENZA (libro di 3° pag 129-131)

Nella prima figura di questo capitolo si vede che i sistemi di TLC sono costituiti da una serie di bipoli e quadripoli collegati in cascata.

È sempre possibile collegarli insieme?

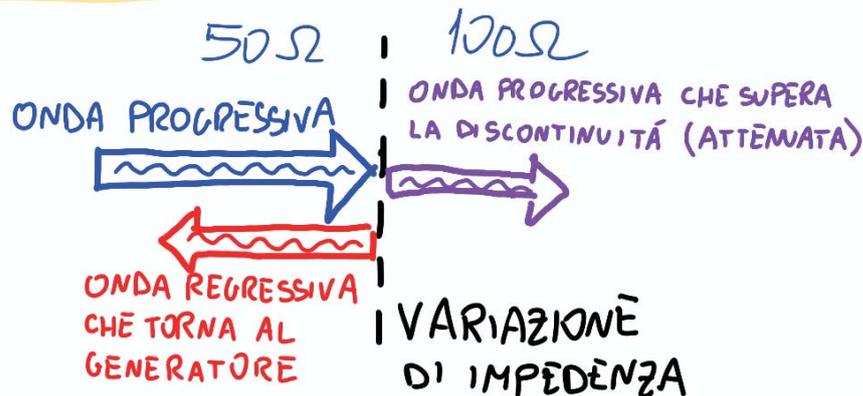
Ci sono delle condizioni da rispettare?

A cosa servono le impedenze di ingresso e di uscita?



Lo studio delle onde ci dice che, quando un segnale ad alta frequenza attraversa un punto in cui c'è variazione di impedenza avvengono delle riflessioni dell'onda (onde regressive) e quindi una parte del segnale torna indietro e non prosegue verso la destinazione. Gli effetti sono:

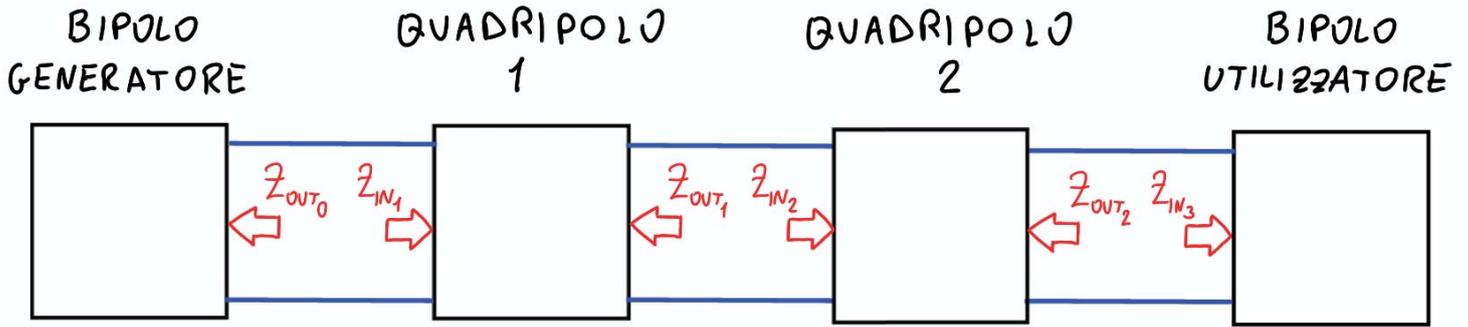
- perdita di potenza di trasmissione;
- disturbi lungo la linea;
- sovraccarico del generatore che riceve le onde regressive.



Questo fenomeno verrà studiato meglio facendo le linee di trasmissione. Una linea con questo tipo di problemi si chiama linea DISADATTATA.

Per evitare questi fenomeni è necessario effettuare il processo di ADATTAMENTO DELLE IMPEDENZE.

Considerando una serie di bipoli e quadripoli in cascata:



Per adattare bipoli e quadripoli è necessario che le impedenze rispettino la seguente CONDIZIONE DI ADATTAMENTO:

L'impedenza di uscita del blocco precedente deve essere uguale all'impedenza di ingresso del blocco seguente.

$$Z_{OUT} \leftarrow = Z_{IN} \rightarrow$$

IMPEDEENZA IN USCITA DAL BLOCCO PRECEDENTE

IMPEDEENZA IN INGRESSO AL BLOCCO SEGUENTE

CONDIZIONE DI ADATTAMENTO

Per la precisione l'impedenza di uscita deve essere uguale al "complesso coniugato" dell'impedenza di ingresso. Il complesso coniugato ha lo stesso modulo e fase cambiata di segno. Dal momento che le impedenze di ingresso ed uscita di solito sono puramente resistive, è corretto pensare che debbano essere semplicemente uguali.

Come si fa a sapere la Z_{in} e Z_{out} di un componente se queste dipendono a loro volta dalle impedenze Z_{in} e Z_{out} dei blocchi vicini?

Come fanno i produttori a fornire i valori di Z_{in} e Z_{out} per un componente senza sapere a cosa si collegherà??

La risposta è facile: si presuppone che il quadripolo sia adattato, quindi i produttori forniscono le Z_{in} e Z_{out} considerando che in ingresso ed in uscita siano collegate impedenze che rispettano le condizioni di adattamento.

IMPEDENZA CARATTERISTICA pag134

In un quadripolo, se le impedenze di ingresso e di uscita sono identiche, questo si dice SIMMETRICO e l'impedenza si chiama IMPEDENZA CARATTERISTICA del quadripolo.

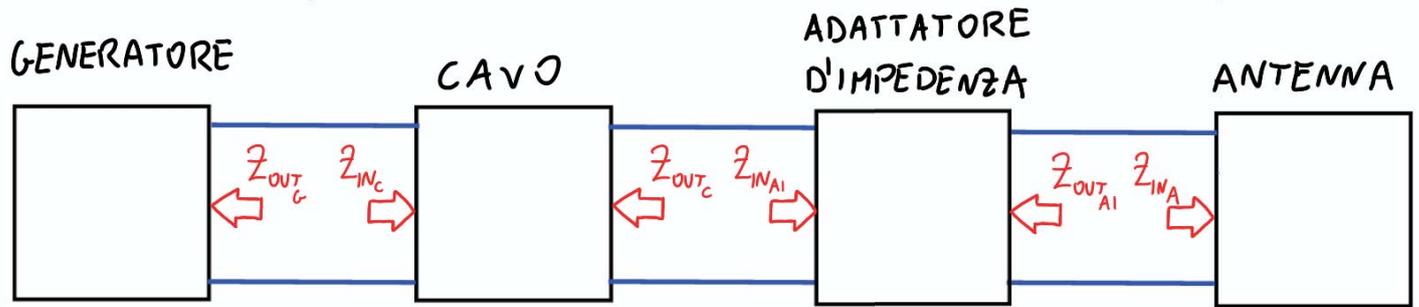
SE $Z_{IN} = Z_{OUT}$ \Rightarrow VIENE CHIAMATA Z_0 IMPEDENZA CARATTERISTICA

I quadripoli simmetrici sono la maggior parte dei componenti usati nel mondo delle telecomunicazioni. Per questo motivo in ciascun sistema quasi tutti i componenti avranno la stessa impedenza sia in ingresso che in uscita, pari all'impedenza caratteristica.

TABELLA 1 Valori tipici di impedenza caratteristica per le linee di trasmissione.

Tipo di linea	Campo di frequenze	Impedenza caratteristica, Z_0 (Ω)
A coppie simmetriche	Frequenze vocali (1 kHz)	300 - 600 TELEFONIA, AUDIO
	Frequenze medio basse (80 kHz)	150
	Medie frequenze (150 kHz)	120
	Alta frequenza (100 MHz)	100 } LAN/TELEFONIA RECENTE
Cavo coassiale	Alta frequenza	75 \rightarrow TV
	Alta o altissima frequenza	50 \rightarrow OSCILLOSCOPIO

ESEMPIO (SULL'ADATTAMENTO DI IMPEDENZA)



$$Z_{0_c} = 75 \Omega \quad (\text{IMPEDENZA CARATTERISTICA CAVO})$$

$$Z_{IN_A} = 200 \Omega \quad (\text{IMPEDENZA DI INGRESSO ANTENNA})$$

Determina il valore di tutte le impedenze affinché il sistema sia totalmente adattato.

SOLUZIONE

Per prima cosa il cavo è sicuramente un sistema simmetrico. Avendo impedenza caratteristica nota si conoscono quelle di ingresso e uscita (a condizione che anche i componenti adiacenti siano adattati):

$$\boxed{Z_{IN_C}} = \boxed{Z_{OUT_C}} = Z_{0_c} = \boxed{75 \Omega}$$

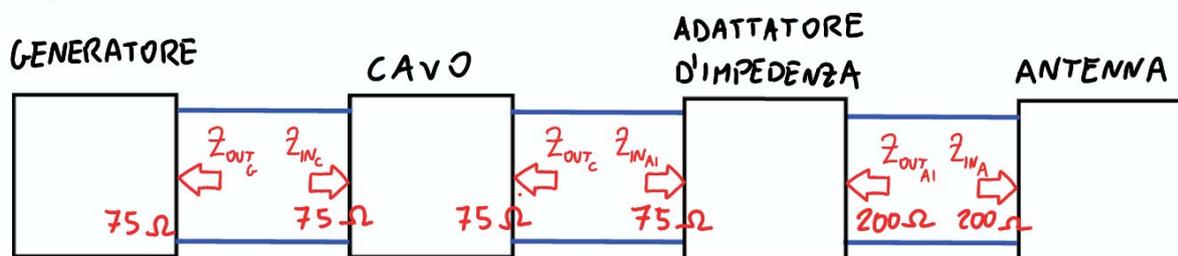
A questo punto è necessario che anche le impedenze adiacenti siano adattate:

$$\boxed{Z_{OUT_G}} = Z_{IN_C} = \boxed{75 \Omega}$$

$$\boxed{Z_{IN_{AI}}} = Z_{OUT_C} = \boxed{75 \Omega}$$

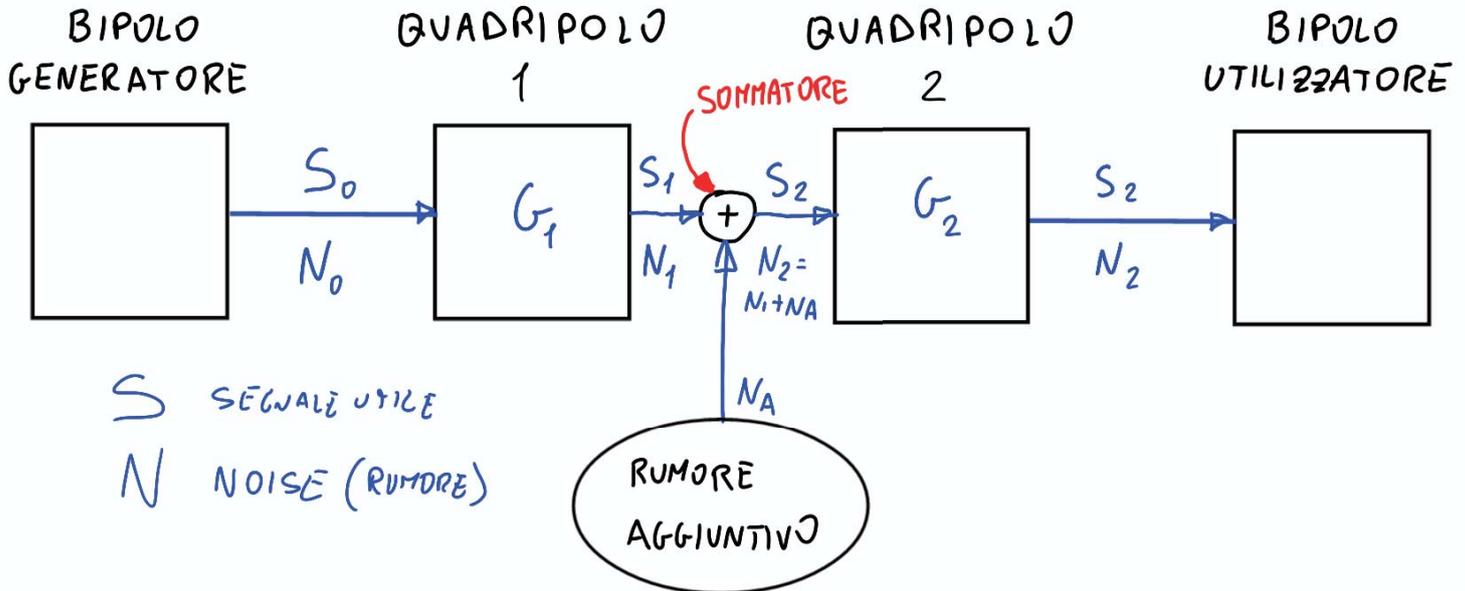
Il cavo non potrà mai essere direttamente adattato all'antenna perché hanno impedenze diverse, per questo c'è tra loro l'adattatore di impedenza che deve presentare all'ingresso l'impedenza del cavo e all'uscita quella dell'antenna, è quindi asimmetrico:

$$\boxed{Z_{OUT_{AI}}} = Z_{IN_A} = \boxed{200 \Omega}$$



SCHEMI A BLOCCHI UNIFILARI e SOMMATORI

Per semplificare gli schemi a blocchi, spesso si disegna un solo filo di collegamento e non due. Nella realtà il secondo filo c'è sempre ma nel disegno resta sottinteso. Questi si chiamano "schemi unifilari", mentre gli altri sono detti "schemi multifilari".



Inoltre possono essere presenti componenti chiamati SOMMATORI che permettono di sommare due segnali (sempre in dB).

RAPPORTO SEGNALE/RUMORE

È il rapporto tra la potenza del segnale utile (S) e quella del rumore (N che viene da "noise" in inglese). Si può esprimere in unità lineari o (più frequentemente) in dB. Più è alto più la trasmissione ha qualità elevata.

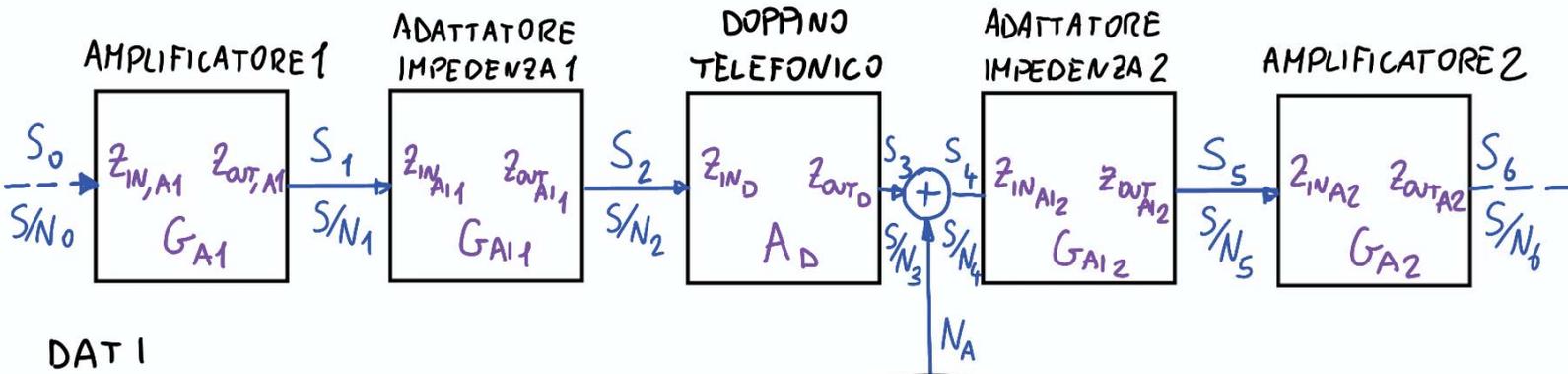
$$\left(\frac{S}{N}\right)_{P, dB} = 10 \log\left(\frac{S}{N}\right)_P$$

RAPPORTO
SEGNALE/RUMORE
PER LE POTENZE

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{V, dB} = 20 \log\left(\frac{S}{N}\right)_V$$

RAPPORTO
SEGNALE/RUMORE
PER LE TENSIONI

ESEMPIO 4 (RIEPILOGATIVO)



DATI

$S_0 = 25 \text{ dB}_{\mu\text{W}}$ POTENZA SEGNALE INIZIALE

$(S/N)_0 = 60 \text{ dB}$ RAPPORTO S/N INIZIALE

$G_{A1} = G_{A2} = 20 \text{ dB}$ GUADAGNO AMPLIFICATORI

$G_{A11} = G_{A12} = -6 \text{ dB}$ " ADATTATORI

$A_D = 10 \text{ dB}$ ATTENUAZIONE CAVO

$N_A = 30 \text{ dB}_{\mu\text{W}}$ POTENZA DEL RUMORE AGGIUNTIVO

$Z_{IN,A1} = Z_{IN,A2} = 1 \text{ k}\Omega$

$Z_{OUT,A1} = Z_{OUT,A2} = 16 \Omega$

$Z_{0,D} = 100 \Omega$



- 1) Determina tutte le impedenze di ingresso e uscita dei blocchi nella condizione di adattamento.
- 2) Determina tutti i livelli e tutti i rapporti segnale/rumore ad ogni blocco.
- 3) Calcola la potenza del segnale e del rumore in uscita.

SOLUZIONE

1) Per le stesse motivazioni dell'esempio 3:

SUL DOPPIO:

$$\boxed{Z_{IND}} = \boxed{Z_{OUTD}} = Z_{0D} = \boxed{100 \Omega}$$

QUINDI

$$\begin{cases} \boxed{Z_{OUTA11}} = Z_{IND} = 100 \Omega \\ \boxed{Z_{INA12}} = Z_{OUTD} = 100 \Omega \end{cases}$$

SUGLI AMPLIFICATORI:

$$\boxed{Z_{IN,A11}} = Z_{OUT,A1} = \boxed{16 \Omega}$$

$$\boxed{Z_{OUT,A12}} = Z_{IN,A2} = \boxed{1 k\Omega}$$

2) Per quanto riguarda il segnale utile, si parte dal livello iniziale e si calcolano in cascata tutti i livelli:

$$\boxed{S_1} = S_0 + G_{A1} = 25 \text{ dBm} + 20 \text{ dB} = 45 \text{ dBm}$$

$$\boxed{S_2} = S_1 + G_{A11} = 45 \text{ dBm} - 6 \text{ dB} = 39 \text{ dBm}$$

$$\boxed{S_3} = S_2 - A_0 = 39 \text{ dBm} - 10 \text{ dB} = 29 \text{ dBm} = \boxed{S_4}$$

IL SEGNALE UTILE
NON CAMBIA TRA
 S_3 E S_4 , CAMBIA
SOLO IL RUMORE

$$\boxed{S_5} = S_4 + G_{A12} = 29 \text{ dBm} - 6 \text{ dB} = 23 \text{ dBm}$$

$$\boxed{S_6} = S_5 + G_{A2} = 23 \text{ dBm} + 20 \text{ dB} = 43 \text{ dBm}$$

Per quanto riguarda il rapporto segnale/rumore bisogna considerare che questo varia solo se viene aggiunto o sottratto rumore, altrimenti resta sempre lo stesso.

$$\boxed{S/N_0} = \boxed{S/N_1} = \boxed{S/N_2} = \boxed{S/N_3} = \boxed{60 \text{ dB}}$$

Aggiungendo rumore, il segnale resta lo stesso, mentre il rumore si amplifica, quindi occorre sottrarre il livello di rumore:

$$\boxed{S/N_4} = S/N_3 - 30 \text{ dBm} = \boxed{30 \text{ dB}} = \boxed{S/N_5} = \boxed{S/N_6}$$

3) Per trovare la potenza del segnale utile (P_6) basta invertire la formula dei dBm:

$$S_{6 \text{ dBm}} = 43 \text{ dBm} = 10 \log S_{6 \text{ mW}} \rightarrow \frac{43}{10} = \log S_{6 \text{ mW}} \rightarrow 10^{\frac{43}{10}} = 10^{\cancel{10} \log S_6} \rightarrow$$

IL dBm SI RIFERISCE ALLA POTENZA IN [mW]

$$\rightarrow S_6 = 10^{4,3} \rightarrow \boxed{S_6} = 10^{4,3} \text{ mW} \cong \boxed{20 \text{ W}}$$

POTENZA
SEGNALE
UTILE IN
SCALA LINEARE

Per trovare la potenza del rumore (N_6) basta invertire la formula del rapporto segnale/rumore:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{6\text{dB}} = 30 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{S_6}{N_6}\right) \rightarrow 3 = \log \frac{S_6}{N_6} \rightarrow 10^3 = 10^{\log \frac{S_6}{N_6}} \rightarrow 10^3 = \frac{S_6}{N_6}$$
$$\rightarrow N_6 = \frac{S_6}{10^3} \rightarrow \boxed{N_6} = \frac{20}{10^3} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ W} = \boxed{20 \text{ mW}}$$