



Elettronica Applicata
a.a. 2017/2018
Esercitazione N°2

COMPONENTI IDEALI/REALI
FILTRO LR

Prof. Ing. Elena Biagi
Sig. Marco Calzolari
Sig. Andrea Giombetti Piergentili
Ing. Simona Granchi
Ing. Enrico Vannacci

www.uscndlab.dinfo.unifi.it



Sommario

INTRODUZIONE:

- Componenti passivi reali
- Circuiti a costanti concentrate e distribuite

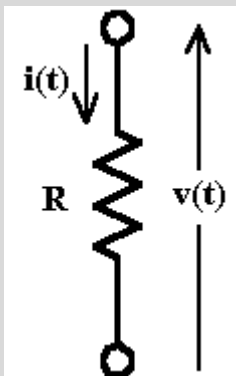
ESERCITAZIONE PRATICA:

- Filtro passa-basso LR
- Misura differenziale di tensione
- Osservazioni sui risultati dell'esercitazione



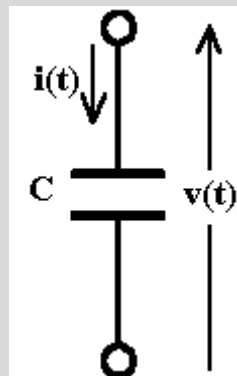
Componenti passivi ideali

Il comportamento teorico dei componenti passivi è il seguente:



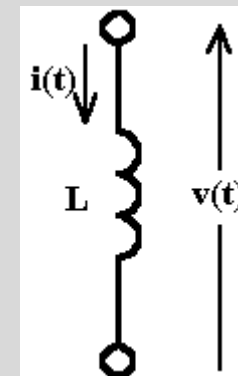
$$V(t) = R \cdot i(t)$$

$$Z_R(j\omega) = R$$



$$V(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

$$Z_C(j\omega) = \frac{1}{j\omega C}$$



$$V(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$Z_L(j\omega) = j\omega L$$

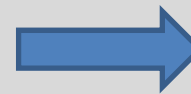
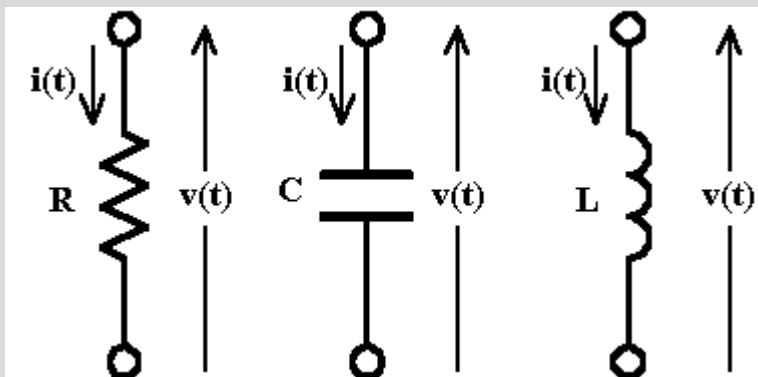


Componenti passivi reali

Comportamento non ideale

In pratica, non esistono componenti il cui comportamento sia ideale.

Solo per basse frequenze è possibile trascurare l'effetto dei **parametri parassiti** (i quali generano comportamento resistivo, capacitivo o induttivo).



**Per basse
frequenze**



Componenti passivi reali

Comportamento non ideale

La non idealità è dovuta a comportamenti non lineari dei componenti, a fattori ambientali (temperatura, umidità...) e alla presenza di **parametri parassiti** (resistivi e reattivi) i quali dipendono dalle **caratteristiche costruttive** del componente.

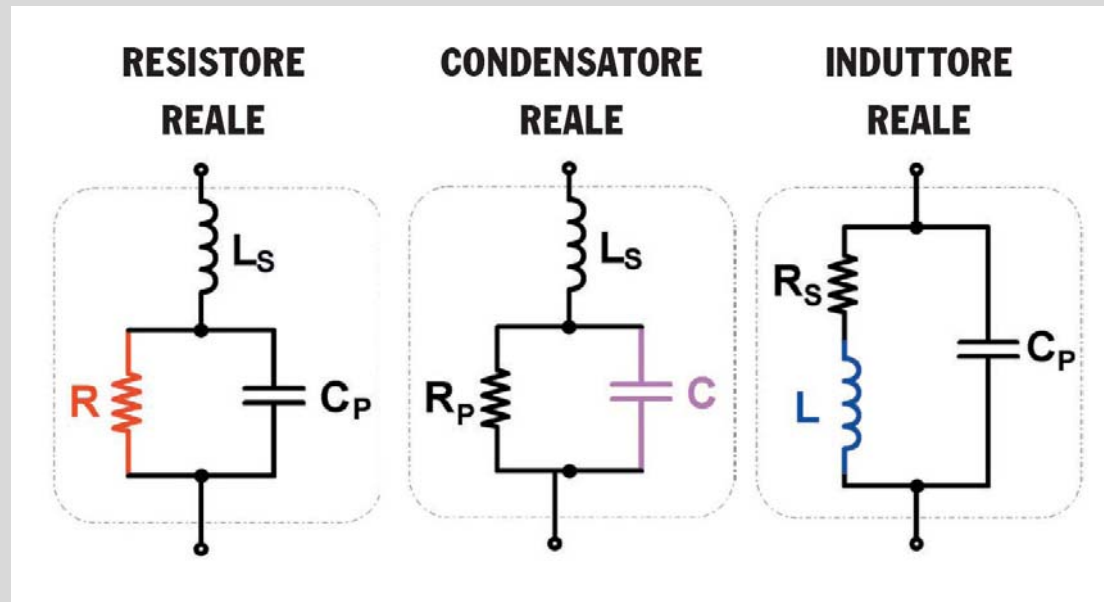
Le non idealità influiscono sulla funzione di trasferimento del circuito.



Componenti passivi reali

Circuiti equivalenti

Il modello più semplice per rappresentare un componente reale è quello lineare con elementi passivi.





Resistore reale

Tipologie costruttive

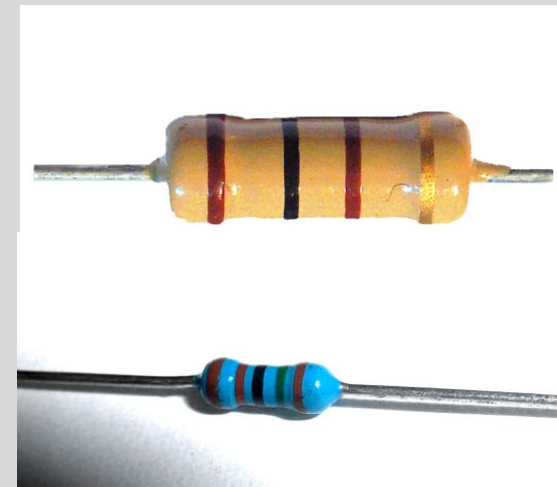
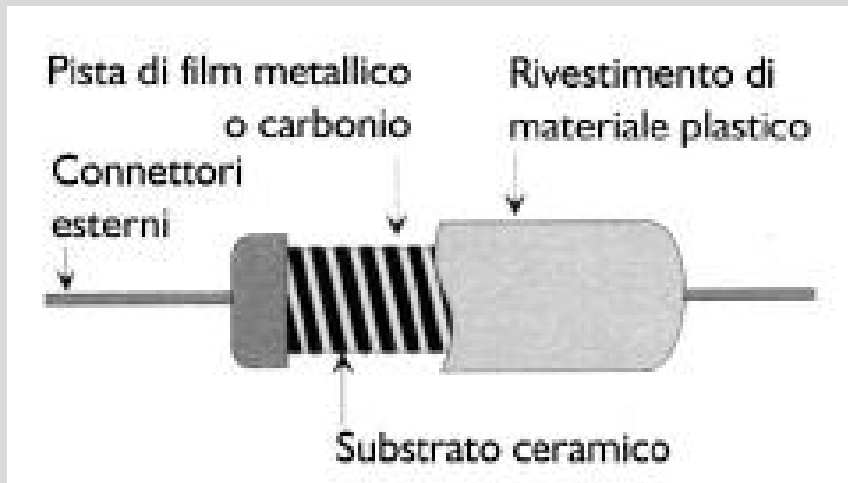
- Resistore a strato (o film sottile)
- Resistore a filo
- Resistore a impasto
- Resistore a film spesso (SMD/SMT)



Resistore reale

Tipologie costruttive: resistore a strato (o film)

Tipologia più usata nelle applicazioni comuni

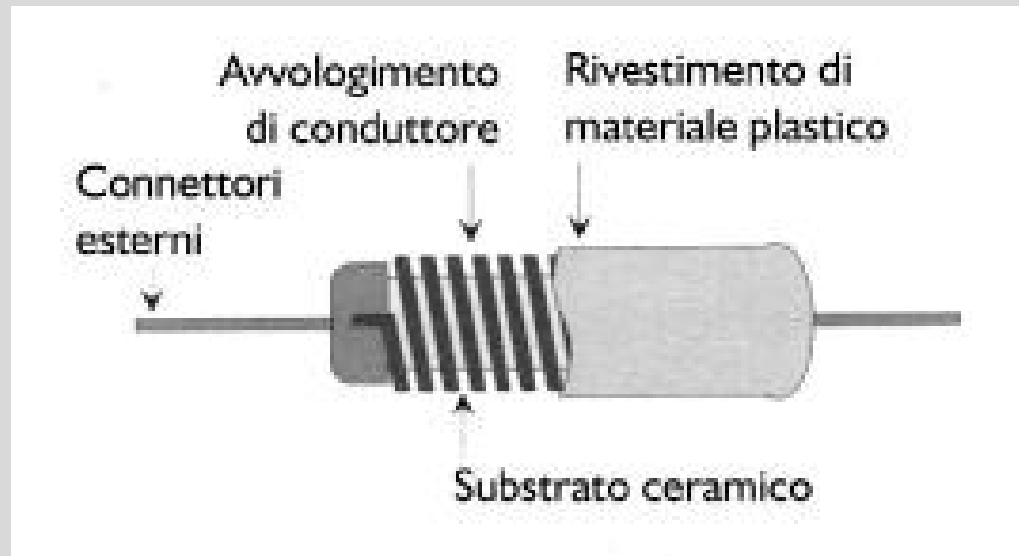


- precisione e stabilità elevate
- corrente di rumore contenuta
- buon comportamento alle alte frequenze

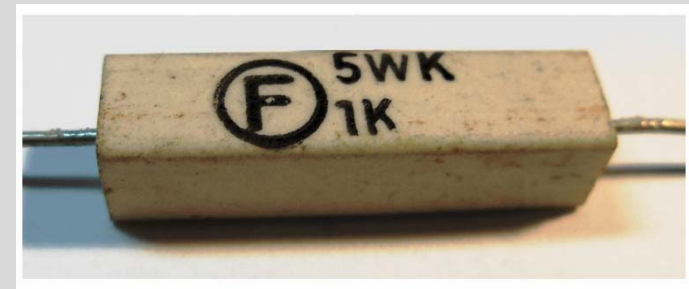


Resistore reale

Tipologie costruttive: resistore a filo



Potenze fino a
circa 100W

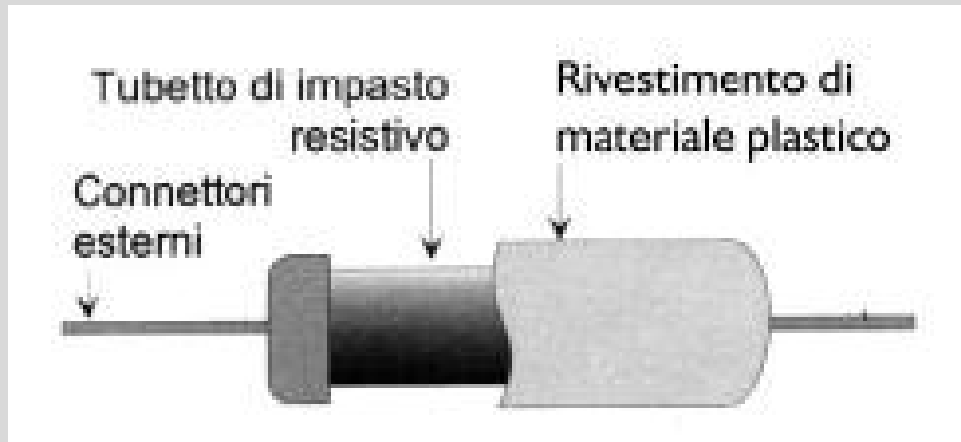


- buona precisione e stabilità in temperatura
- elevata potenza dissipabile
- elevati valori dei parametri parassiti reattivi



Resistore reale

Tipologie costruttive: resistore ad impasto



Potenze ridotte:
0.25W, 0.5W, 1W e 2W

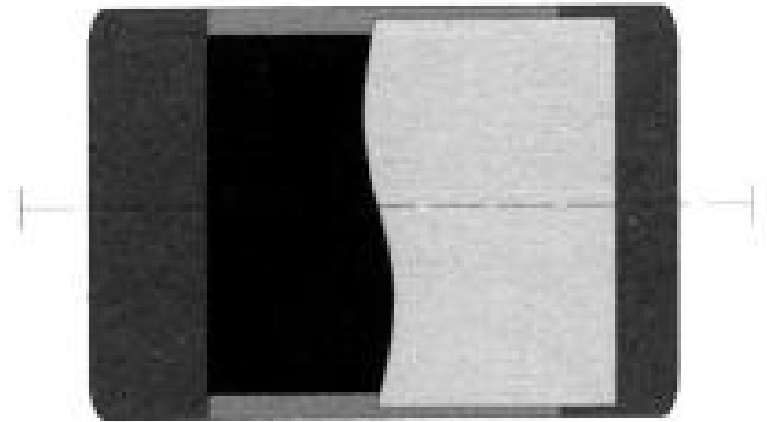
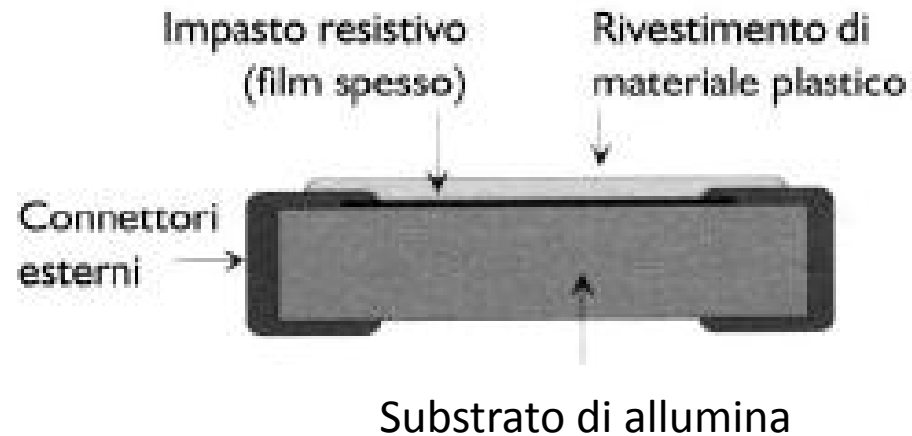


- modesta precisione e stabilità in temperatura
- bassa potenza dissipabile
- bassi valori dei parametri parassiti reattivi



Resistore reale

Tipologie costruttive: resistore a film spesso SMD (o SMT)



**Componente non induttivo,
ideale per alte frequenze**

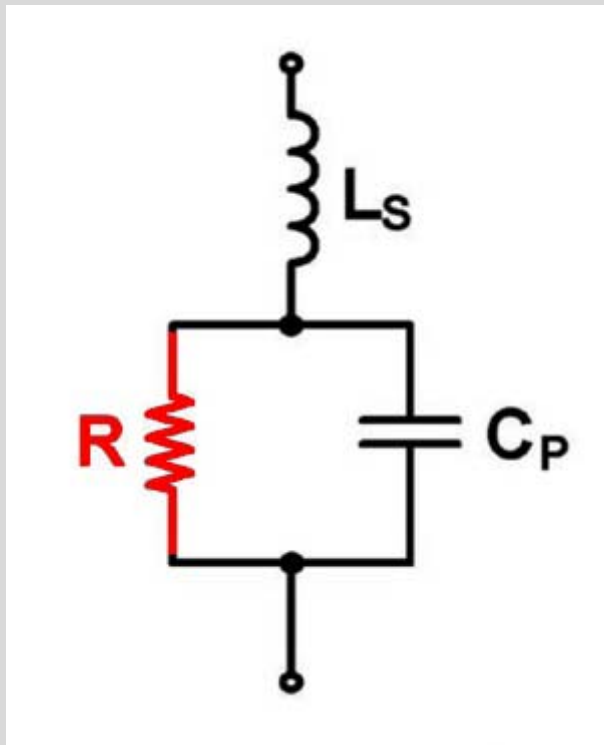
**In base al package sostiene potenze
Che vanno da 50mW fino ad 1W**





Resistore reale

Comportamento in frequenza



*Rete equivalente
del resistore reale*

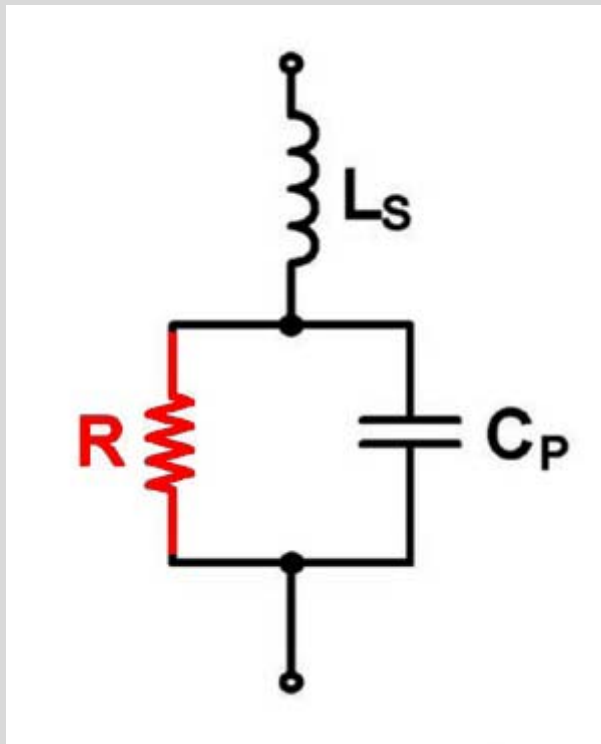
Durante il funzionamento del componente si ha:

- difficoltà dei portatori di carica ad attraversare il reticolo cristallino del metallo (R)
- autoinduzione del campo magnetico provocata dal moto delle cariche (L_s)
- capacità dovuta alla differenza di potenziale tra i diversi punti dell'elemento resistivo percorso da corrente (C_p)



Resistore reale

Comportamento in frequenza



*Rete equivalente
del resistore reale*

L_S e C_P dipendono dalla tecnologia impiegata per fabbricare il resistore e possono essere considerati costanti, per qualunque valore nominale di R , all'interno dello stesso processo costruttivo.



Resistore reale

Valori tipici di L_S e C_P

Tecnologia costruttiva	L_S tipico	C_P tipico
Resistori a film sottile	$5 \div 200 \text{ nH}$	$0.3 \div 1 \text{ pF}$
Resistori a filo	$> 100 \text{ nH}$	$0.5 \div 1 \text{ pF}$
Resistori ad impasto	$2 \div 10 \text{ nH}$	$0.05 \div 0.3 \text{ pF}$
Resistori a film spesso (SMD)	$0.5 \div 2 \text{ nH}$	$0.05 \div 0.1 \text{ pF}$

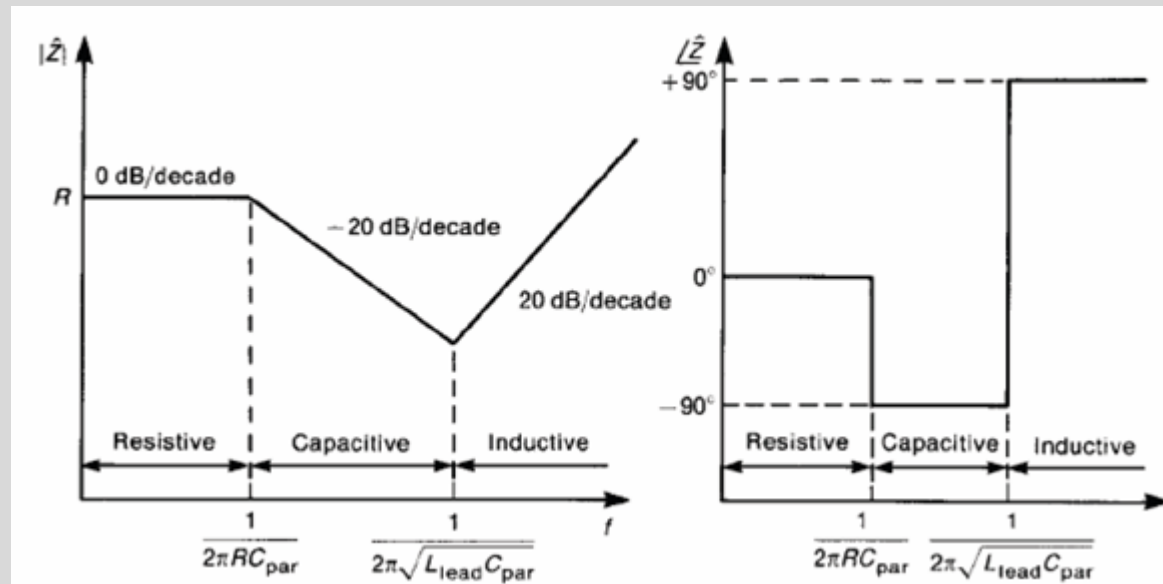


Resistore reale

Comportamento in frequenza

L'impedenza della rete equivalente è

$$Z = \frac{R + j\omega L_s - \omega^2 R C_p L_s}{1 + j\omega R C_p} \cong R \quad \text{per basse frequenze}$$





Condensatore reale

Tipologie costruttive

Condensatori a dielettrico solido:

- Condensatori ceramici
- Condensatori in carta
- Condensatori in poliestere
- Condensatori a mica argentata
- Condensatori in vetro

Condensatori elettrolitici:

- Condensatori ad alluminio
- Condensatori al tantalio

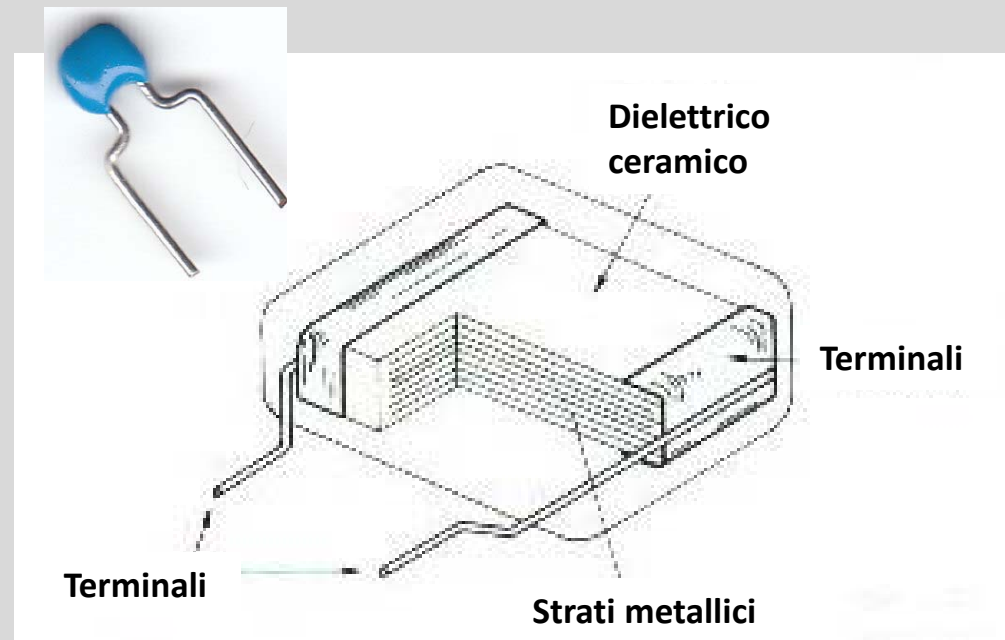


Condensatore reale

Tipologie costruttive: condensatore ceramico



A disco



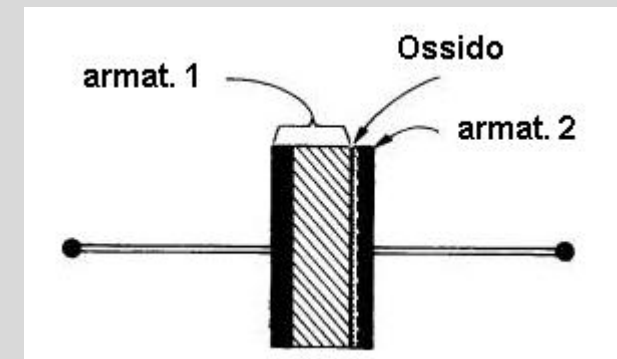
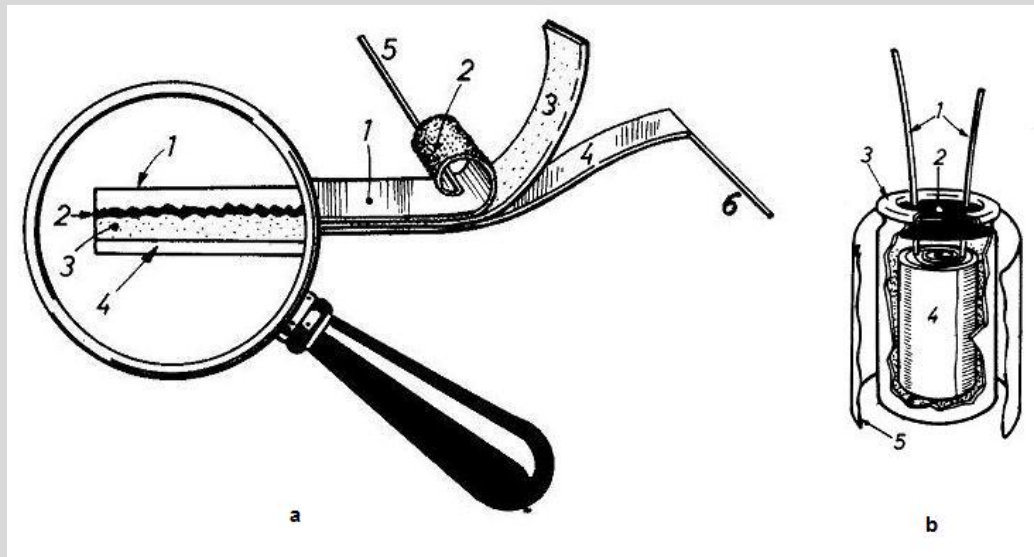
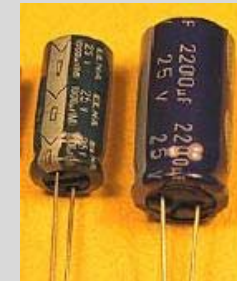
Multistrato

Capacità stabile e perdite molto piccole, vengono utilizzati nei circuiti oscillanti e ad alta precisione



Condensatore reale

Tipologie costruttive: condensatore elettrolitico



- modesta precisione e stabilità in temperatura e nel tempo
- elevatissimi valori della capacità, basse tensioni applicate
- alti valori dei parametri parassiti



Condensatore reale

Tipologie costruttive: condensatore al tantalio

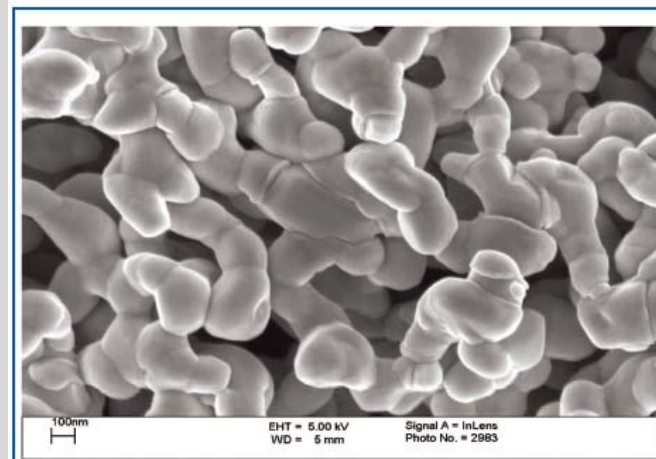
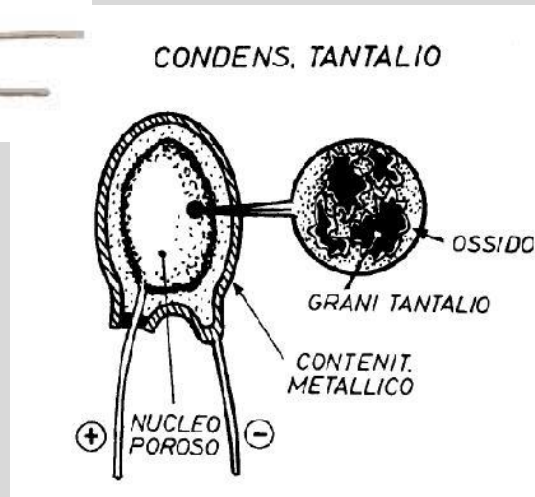


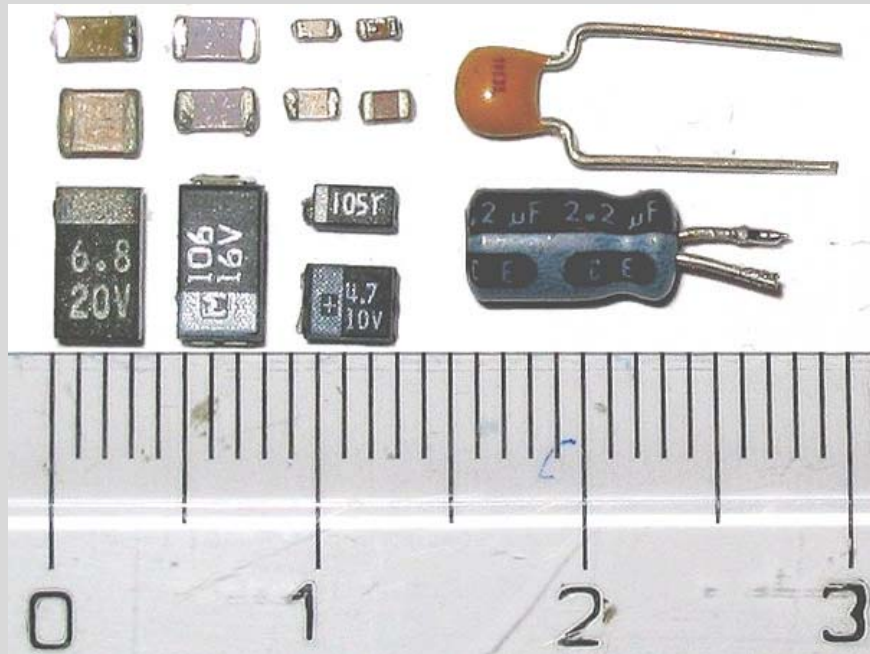
Figure 18: 200kCV/g sintered anode structure

- maggiore stabilità in temperatura e in alta frequenza rispetto agli elettrolitici con ossido di alluminio
- bassi valori della capacità
- bassa tensione massima



Condensatore reale

Tipologie costruttive: condensatore SMD (o SMT)



Confronto tra condensatori SMD (a sinistra) e due condensatori classici

Condensatori ceramici

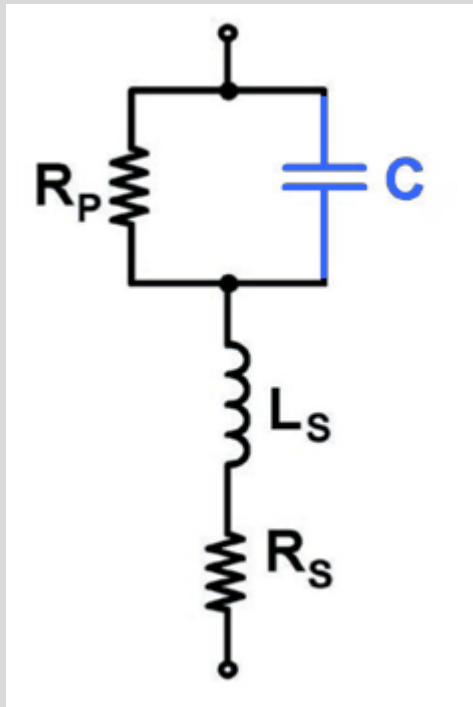
Condensatori elettrolitici

- Bassi valori di parametri parassiti
- Migliore performance ad alte frequenze



Condensatore reale

Parametri di riferimento



*Rete equivalente del
condensatore reale*

R_P : resistenza del dielettrico

R_S : resistenza dovuta ai reofori

L_S : induttanza dovuta ai reofori

$$R_P + R_S = ESR$$

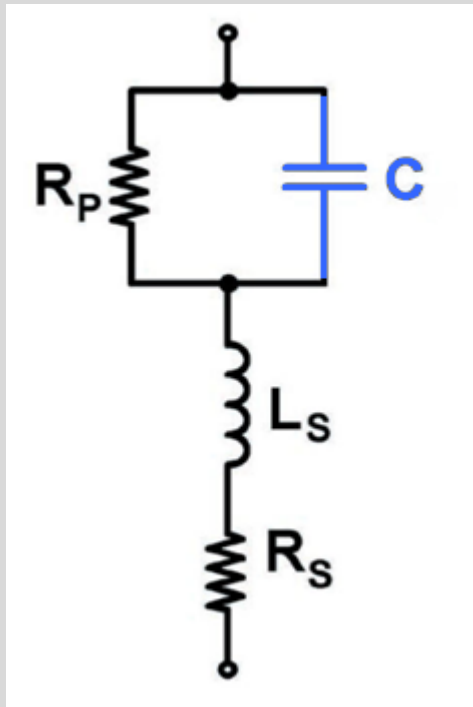
Resistenza Serie Equivalente:

resistenza equivalente in
corrente alternata fornita ad una
certa frequenza (tipicamente
50Hz) che tiene conto della R_S e
della R_P .



Condensatore reale

Parametri di riferimento



*Rete equivalente del
condensatore reale*

$tg\delta$ (fattore di dissipazione DF) :
rapporto tra i moduli delle
correnti resistiva e reattiva ad
una certa frequenza (tipicamente
1kHz) .

$$DF = tg\delta = \frac{I_R}{I_{X_C}} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R_P}$$

SRF (Frequenza propria di
risonanza) :

frequenza di risonanza del
circuito equivalente.

$$SRF = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_S \cdot C}}$$

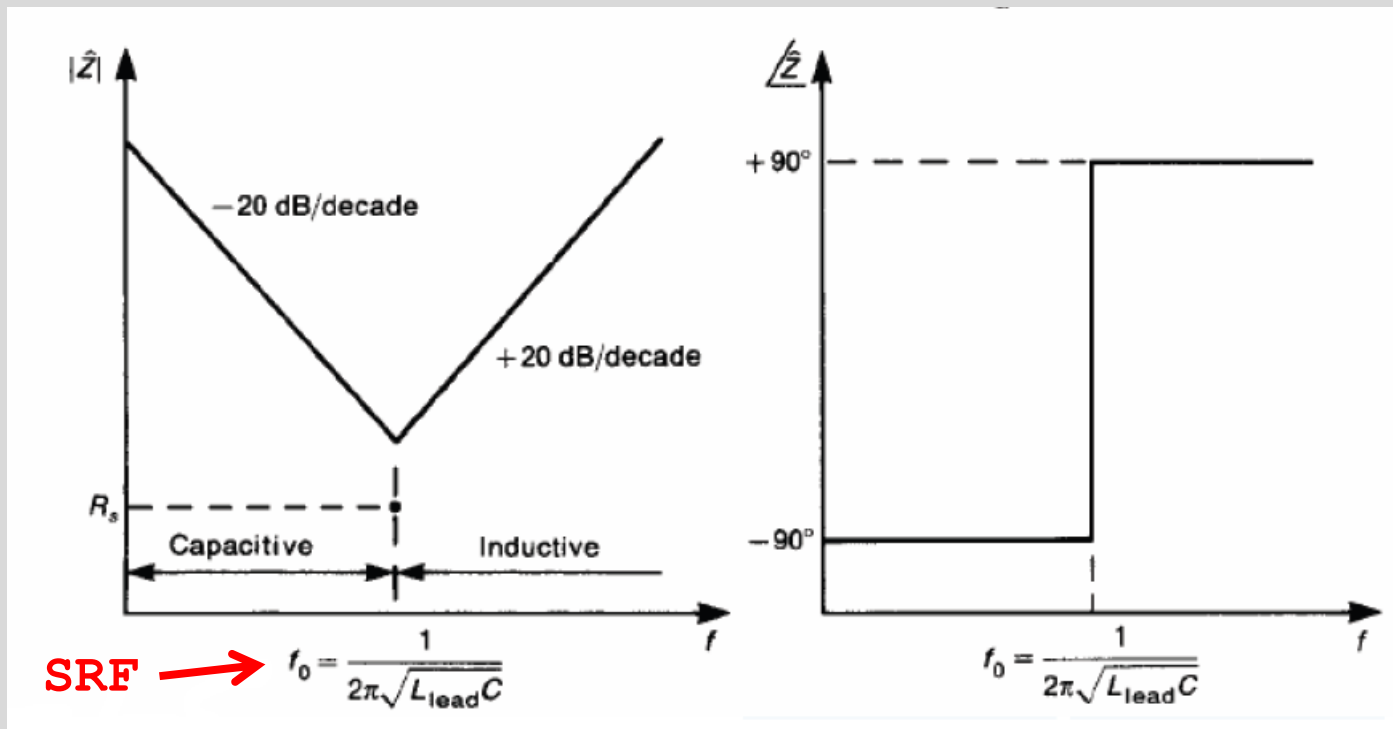


Condensatore reale

Comportamento in frequenza

L'impedenza della rete
equivalente è

$$Z = ESR + j\omega L_s + \frac{1}{j\omega C} \cong \frac{1}{j\omega C}$$





Condensatore reale

Tabella comparativa delle tipologie costruttive

Tipo di dielettrico	Gamma di valori di capacità	Tensione massima in continua	Accuratezza C/C	Stabilità termica	Perdite (D.F.)	Osservazioni
Mica	1pF 10nF	100V 600V	Buona	--	Buono	Eccellenti; ottimi per i circuiti RF
Ceramici	10pF 10 F	50V 30000V	Scarsa	Bassa	Discreto	Piccole dimensioni, basso costo, uso generale
Poliestere (Mylar)	1nF 50 F	50V 600V	Buona	Bassa	Buono	Basso costo, buone prestazioni
Polistirene	10pF 2,7 F	100V 600V	Eccellente	Buona	Eccellente	Alta qualità, grandi dimensioni grandi; uso come filtri di segnale
Policarbonato	100pF 30 F	50V 800V	Eccellente	Eccellente	Buono	Elevata qualità piccoli
Polypropilene	100pF 50 F	100V 800V	Eccellente	Buona	Eccellente	Elevata qualità basso assorbimento dielettrico
Teflon	1000pF 2 F	50V 200V	Eccellente	Ottima	Ottimo	Elevata qualità bassissimo assorbimento dielettrico
Vetro	10pF 1000pF	100V 600V	Buona	--	Eccellente	Buona stabilità a lungo termine
Porcellana	100pF 0,11 F	50V 400V	Buona	Bassa	Buono	Buona stabilità a lungo termine
Tantalio	0,1 F 500 F	6V 100V	Scarsa	Bassa	Moderato	Elevato valore di capacità polarizzati, piccoli
Elettrolitici	0,1 F 1,6F	3V 600V	Scadente	Pessima	Pessimo	Filtri di banco; polarizzati
Doppio strato	0,1F 10F	1,5V 6V	Scarsa	Bassa	Buono	Mantenimento di memorie; elevata resistenza serie
Olio	0,1 F 20 F	200V 10000V	--	--	Buono	Elevati voltaggi di lavoro; grandi
Aria	1pF 5nF	2000V 36000V	--	--	Eccellente	Generatori RF



Induttore reale

Tipologie costruttive

Induttori avvolti in aria

- buona precisione e stabilità in temperatura
- basso valore della induttanza realizzabile
- bassi valori dei parametri parassiti
- elevata sensibilità ai campi elettromagnetici esterni

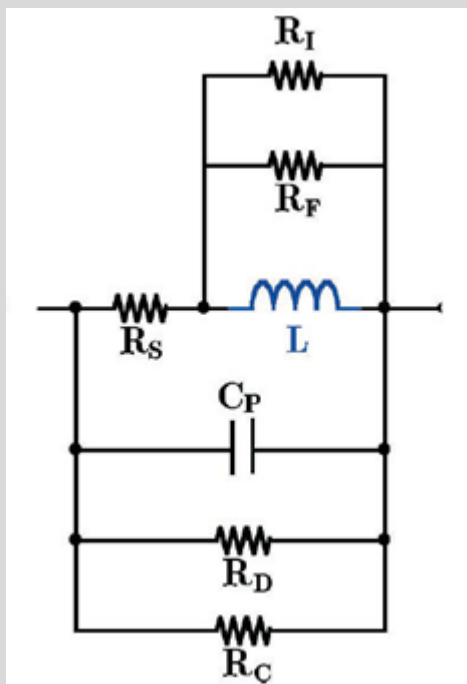
Induttori avvolti su nucleo ferromagnetico

- modesta precisione e stabilità in temperatura
- elevati valori della induttanza
- elevati valori dei parametri parassiti
- marcata non linearità



Induttore reale

Comportamento in frequenza



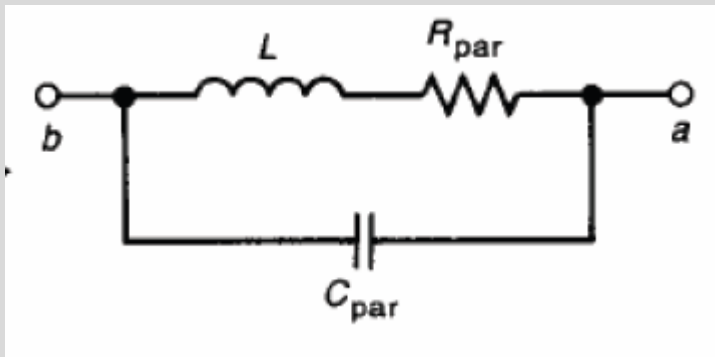
*Rete equivalente
dell'induttore reale*

L	Induttanza
R_I	Perdite per isteresi magnetica (proporzionale a f)
R_F	Perdite per correnti di Foucault (proporzionale a f^2)
R_S	Resistenza serie degli avvolgimenti (in AF dà luogo all'effetto pelle)
C_P	Capacità distribuita dell'avvolgimento
R_D	Dovuta all'isteresi del dielettrico (proporzionale a f^{-1})
R_C	Resistenza del dielettrico (circa costante)

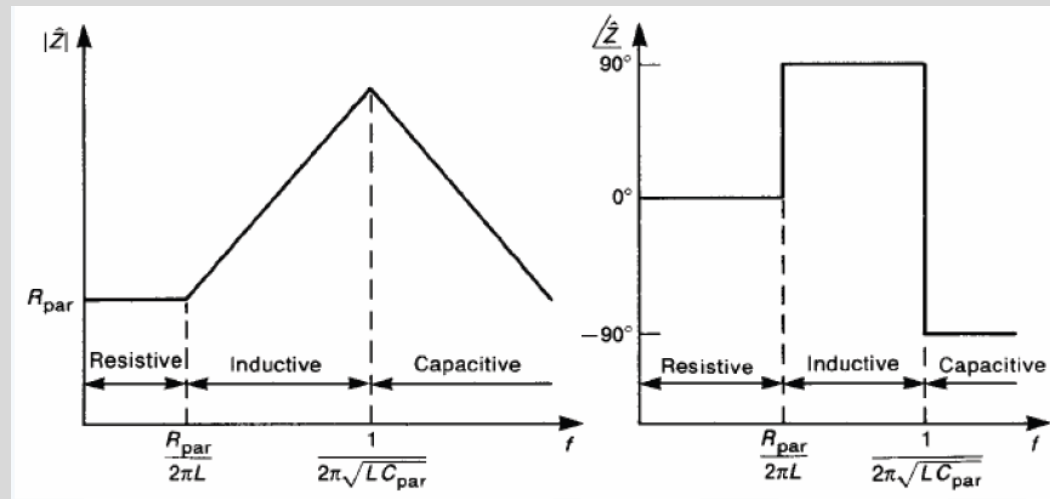


Induttore reale

Comportamento in frequenza



*Rete equivalente
dell'induttore reale
(semplificata)*



$$Z = \frac{R_{par} + j\omega L}{1 + j\omega R_{par} C_{par} - \omega^2 L C_{par}} \cong j\omega L \quad \text{in bassa frequenza}$$



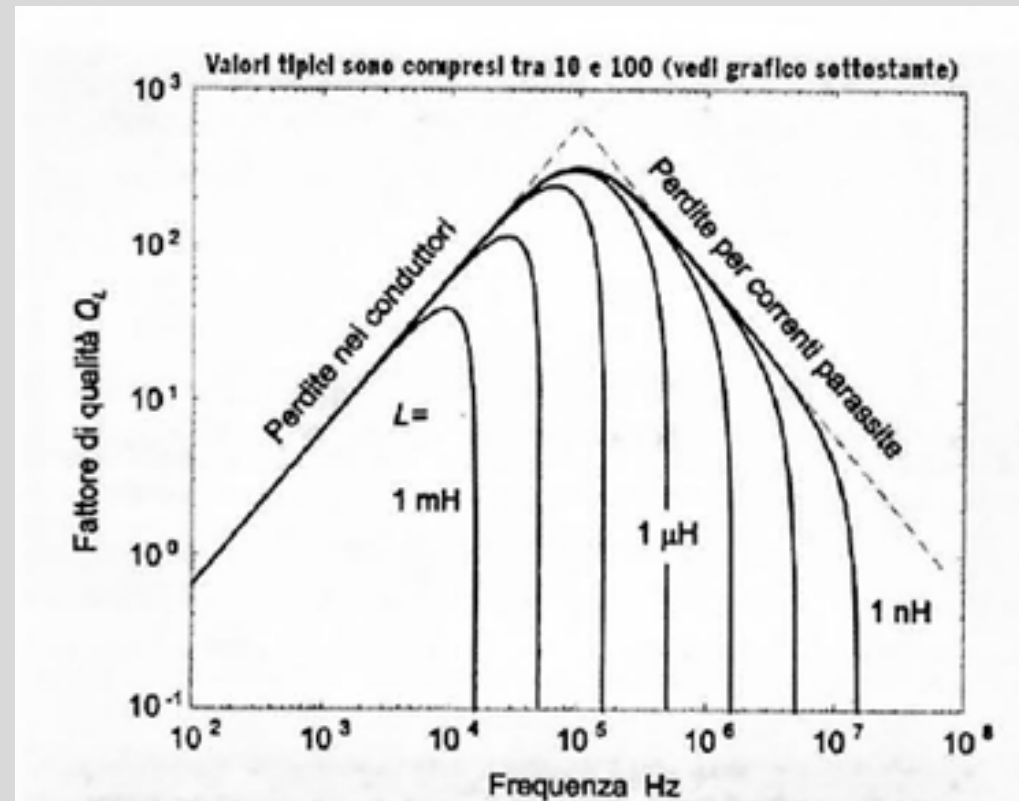
Induttore reale

Parametri di riferimento

Fattore
di qualità

$$Q = \frac{P_{\text{reattiva}}}{P_{\text{attiva}}} = \frac{\omega L}{R}$$

Più grande è Q ,
migliore è il rendimento
dell'induttore.





Analisi circuitale

Circuiti a costanti concentrate

La relazione che lega la lunghezza d'onda λ con la frequenza dei segnali in gioco f è:

$$\lambda = \frac{ck}{f}$$

dove c è la velocità della luce nel vuoto e k è il fattore di velocità dell'onda nel mezzo.

Un circuito può essere analizzato con il **modello a costanti concentrate** quando le dimensioni dei componenti e la lunghezza delle piste sono **minori** della minima lunghezza d'onda associata ai segnali che interessano il circuito.

Esempi: ponendo $k \cong 0.7$

Se $f = 15\text{MHz}$ allora $\lambda = 14\text{m}$

Se $f = 1\text{MHz}$ allora $\lambda = 210\text{m}$



Analisi circuitale

Circuiti a costanti concentrate

In un circuito a parametri concentrati le variabili spaziali (x y z) non incidono sui fenomeni elettrici e quindi le grandezze elettriche dipendono unicamente dal tempo; il circuito può essere descritto mediante un modello matematico basato su equazioni differenziali ordinarie.

Ai fini pratici, si può considerare corretto utilizzare il modello a costanti concentrate se le dimensioni del circuito (massima lunghezza dei collegamenti) sono inferiori a $\lambda/10$.

Un limite più stringente, spesso usato, è $\lambda/20$.



Analisi circuitale

Circuiti a costanti distribuite

Nel caso in cui le dimensioni degli elementi circuitali superino la lunghezza d'onda associata ai segnali utilizzati (quindi per frequenze molto elevate), si deve analizzare il circuito tramite il **modello a costanti distribuite**, descritto matematicamente mediante equazioni differenziali alle derivate parziali.

In tale situazione infatti si devono considerare gli effetti della propagazione dei segnali all'interno del mezzo, che si comporta come una linea di trasmissione.



Analisi circuitale

Circuiti a costanti distribuite

Considerando ad esempio le piste su un circuito stampato, per certi valori di frequenza esse non possono essere più considerate dei corto circuiti (ovvero dei collegamenti con resistenza trascurabile).

Il valore dell'impedenza è diverso al variare della frequenza: esisteranno valori di frequenza ai quali una pista può diventare un circuito aperto.

In queste condizioni i collegamenti devono essere studiati come linee di trasmissione: tensioni (correnti) su di una linea sono somma di due termini, detti tensione (corrente) incidente e tensione (corrente) riflessa.

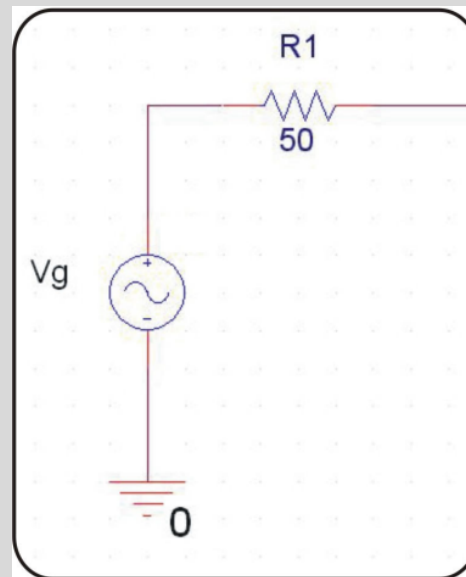


Esercitazione (parte 1)

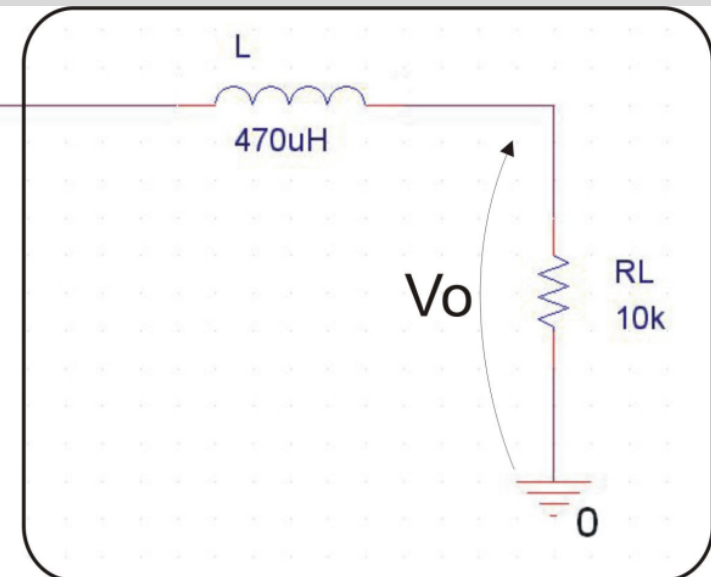
*Scopo dell'esercitazione:
realizzazione di un filtro passa-basso LR*

**Componenti
utilizzati:**

- $L = 470\mu\text{H}$
- $R_L = 10\text{k}\Omega$



Generatore
di forme d'onda



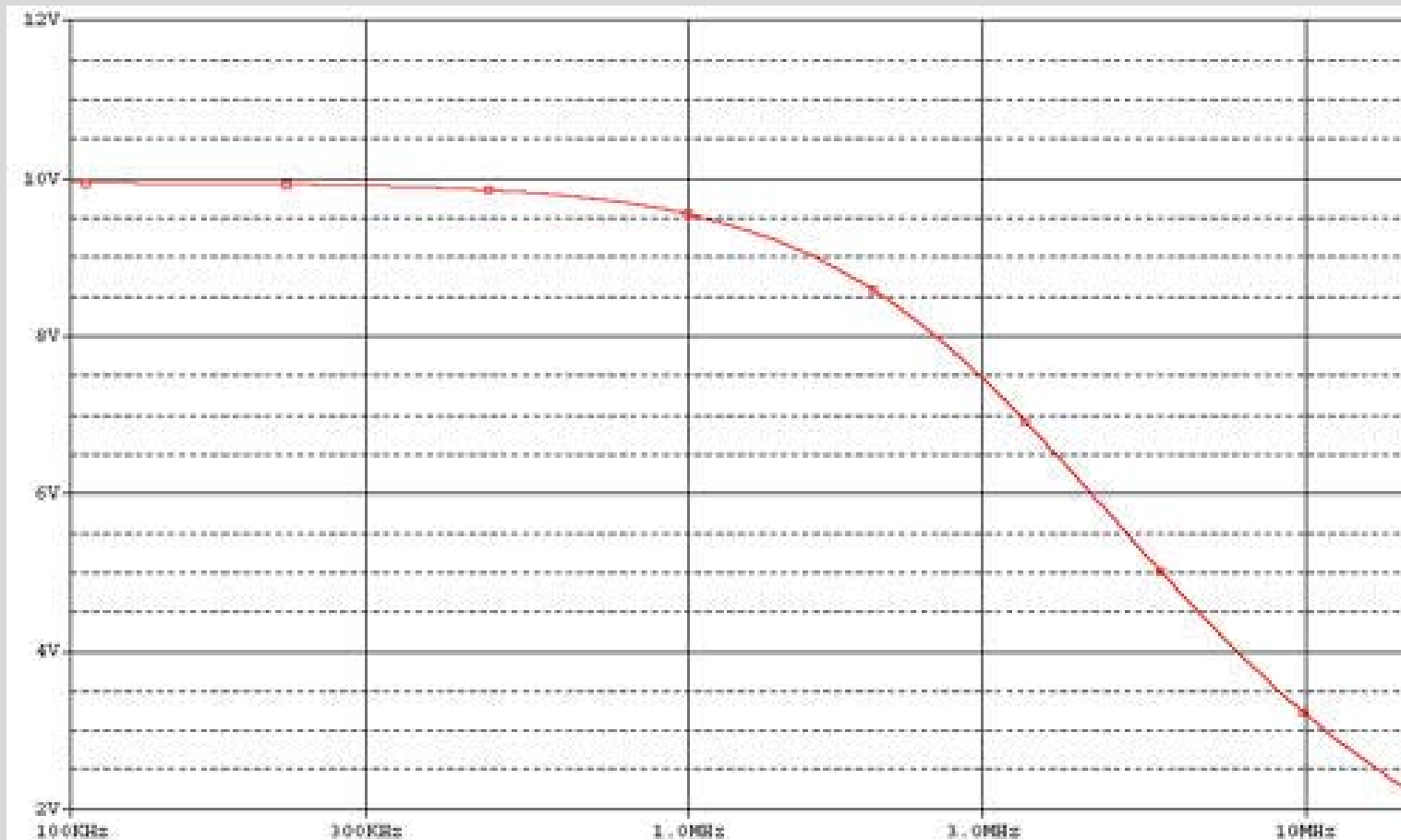
Filtro LR

- $f_t (-3 \text{ dB}) = R_L / 2\pi L$



Esercitazione (parte 1)

Risposta in frequenza teorica del filtro da realizzare





Esercitazione (parte 1)

Misure da effettuare sul filtro passa-basso LR

Andamento della funzione di trasferimento del circuito

$$H(f) = \frac{V_o(f)}{V_g(f)}$$

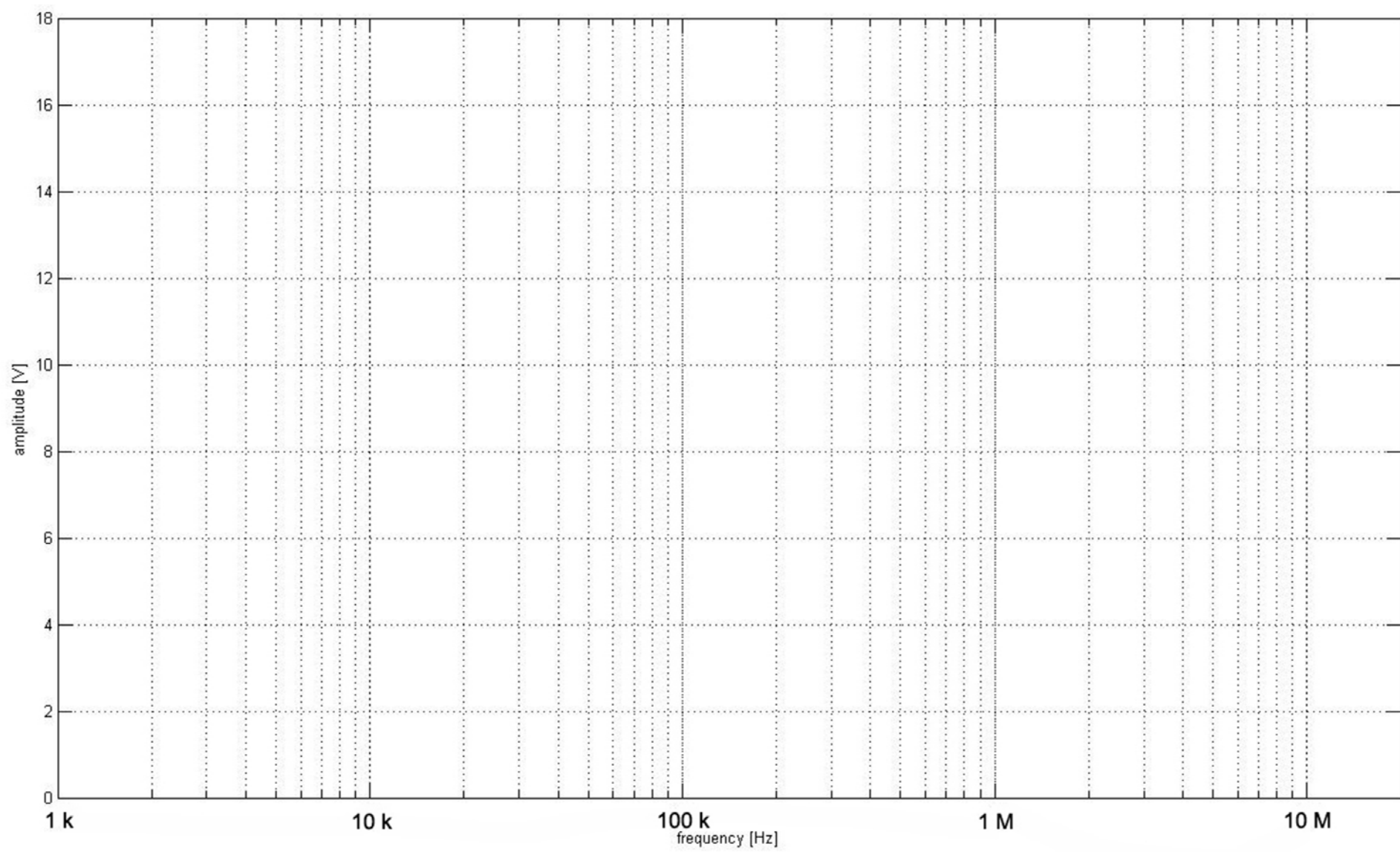
- individuare la frequenza di taglio
- impostare un'ampiezza di $5V_{pp}$ (equivalenti a $10V_{pp}$ su di un carico ad alta impedenza) sul generatore di forme d'onda (onda sinusoidale)
- ricavare l'andamento della risposta in ampiezza, per punti, variando la frequenza del segnale in ingresso al circuito e riportare i valori di V_o sull'apposito grafico, per tracciare l'andamento della risposta in ampiezza



Esercitazione (parte 1)

Tabella da riempire per ricavare la risposta in ampiezza

Frequenza	V_g	V_o	V_o / V_g	V_o / V_g (dB)
1 kHz				
10 kHz				
100 kHz				
500 kHz				
1 MHz				
1.2 MHz				
1.4 MHz				
1.5 MHz				
1.6 MHz				
1.7 MHz				
1.8 MHz				
1.9 MHz				
2 MHz				
2.3 MHz				
2.6 MHz				
3 MHz				
4 MHz				
5 MHz				
6 MHz				
7 MHz				
8 MHz				
10 MHz				
12 MHz				
15 MHz				





Esercitazione (parte 1)

Domande

1. Qual è l'effettiva frequenza di taglio a -3 dB del circuito realizzato?
2. Il filtro si comporta come atteso dalla teoria (e dalla simulazione)? Perché?
3. L'attenuazione alla frequenza di 15 MHz è quella attesa? Perché?



Esercitazione (parte 2)

Misure di modo comune

Gli oscilloscopi sui banchi del laboratorio sono equipaggiati con semplici sonde compensate non differenziali per cui si possono effettuare solo **misure di modo comune**.

Effettuare una misura di modo comune significa fare una misura, in un punto qualsiasi del circuito, che sia riferita a massa: il morsetto della sonda (o coccodrillo) dovrà quindi essere sempre connesso al potenziale di riferimento del circuito.



Esercitazione (parte 2)

Misure differenziali

Per effettuare **misure differenziali** esistono strumenti quali:

- oscilloscopi per misure differenziali
- oscilloscopi normali, ma alimentati tramite batterie (Misure pericolose! Attenzione!)
- sonde differenziali, collegabili anche a un normale oscilloscopio (sonde molto costose)

È possibile effettuare misure differenziali anche con gli oscilloscopi del laboratorio, utilizzando contemporaneamente i due canali di ingresso.



Esercitazione (parte 2)

Misura differenziale di tensione

Misuriamo la tensione ai capi dell'induttore da 470 μ H nel circuito appena realizzato: nessuno dei suoi due morsetti è direttamente connesso a massa, per cui la misura è di tipo differenziale.

Per effettuare la misura si utilizzano due sonde collegate ai canali 1 e 2 dell'oscilloscopio. Connettiamo entrambi i terminali di riferimento delle sonde a massa; connettiamo poi il terminale caldo della prima sonda ad uno dei due reofori dell'induttore ed il terminale caldo della seconda sonda all'altro reoforo.



Esercitazione (parte 2)

Misura differenziale di tensione

A questo punto stiamo misurando, separatamente, le tensioni ai due capi dell'induttore (riferite a massa).

Per avere la misura differenziale si utilizza il **menu matematico** impostando la sottrazione dei due canali.

Su schermo viene visualizzata la differenza tra le due tensioni (riferite allo stesso potenziale di massa) e quindi la tensione differenziale ai capi dell'induttore.



Alla fine?

*Siete pregati di smontare i componenti
dalla protoboard, rimetterli nella
scatoletta e riporre tutto come
all'inizio dell'esercitazione*

Così da facilitare i gruppi successivi

GRAZIE!