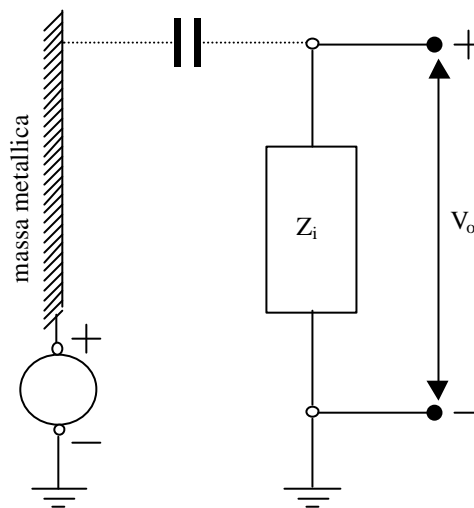


## CAPITOLO 2 I DISTURBI NELLE MISURE

Il **rumore** è un segnale indesiderato, privo di informazioni, che si sovrappone alla grandezza che si desidera misurare aumentandone il grado di incertezza.

Le sorgenti di rumore possono essere molteplici: una qualunque massa metallica posta nelle vicinanze di un sistema di misura, e ad un potenziale diverso da zero, può modificare il circuito di misura iniettando dei disturbi che si accoppiano al segnale sotto prova; in questo caso si parla di accoppiamenti capacitivi e il rumore aggiunto al segnale di tensione prende il nome di **rumore di tensione**.



- figura 2.1 -

Altra sorgente di disturbo è dovuta ad effetti induttivi: la circolazione di corrente in circuiti posti in vicinanza del sistema di misura genera un campo magnetico variabile nel tempo che si concatena con il circuito di misura inducendo delle correnti indesiderate; in questo caso si parla di accoppiamenti induttivi e il rumore aggiunto al segnale prende il nome di **rumore di corrente**.

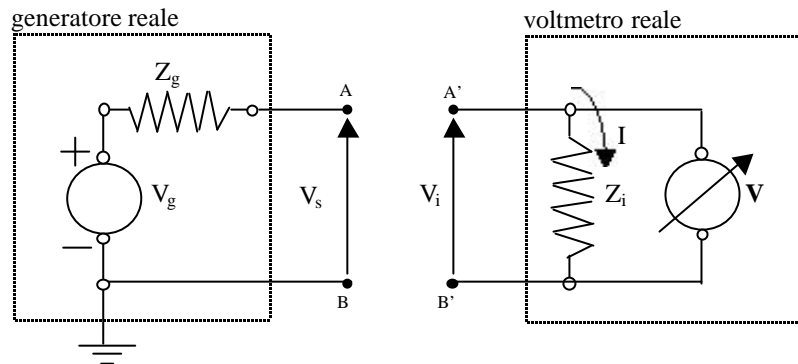
Il disturbo tipico della tensione di rete a 50Hz è chiamato "ronzio" e si presenta come una oscillazione che si sovrappone ai segnali di tensione alterandoli. Il ronzio è dovuto ad un filtraggio imperfetto dell'alimentazione o da accoppiamenti della linea di alimentazione e gli apparati di misura.

In generale, qualunque fenomeno elettromagnetico che si verifica nelle vicinanze delle apparecchiature è in grado di influire su quelle parti del sistema esposte o che sono maggiormente sensibili.

Un tipico rumore sempre presente è il **rumore termico** dovuto a tutte le cause di disturbo generate intrinsecamente allo stesso strumento di misura.

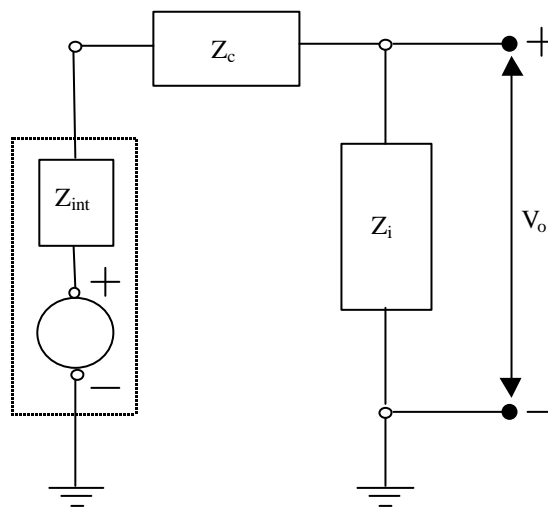
### Disturbi di tensione

Secondo il teorema del generatore di tensione equivalente, o di Thevenin, un generatore di segnale reale può essere modellato mediante un generatore ideale di tensione con in serie la sua impedenza interna  $Z_g$ ; lo strumento di misura reale, invece, può essere visto come un carico  $Z_i$  posto in serie, o a seconda dei casi in parallelo, ad uno strumento ideale.



- figura 2.2 -

L'accoppiamento capacitivo tra la sorgente di disturbo e lo strumento di misura, è rappresentato dall'impedenza  $Z_c$  come riportato in figura 2.3,

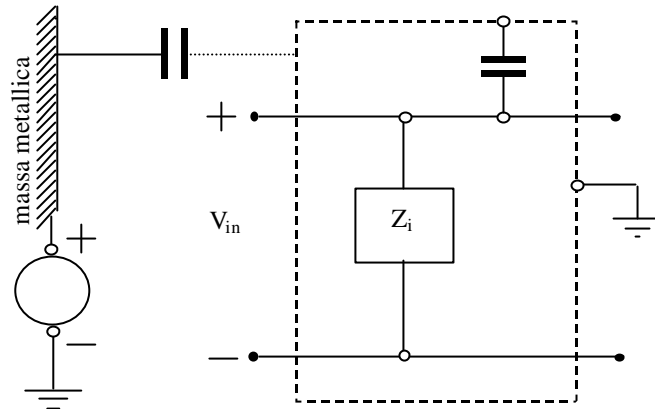


- figura 2.3-

dove:

$$\dot{Z}_c = \frac{1}{j\omega C} \quad (2.1)$$

Una soluzione per minimizzare gli effetti degli accoppiamenti indesiderati è allontanare quanto più è possibile il sistema di misura da qualunque sorgente di rumore.

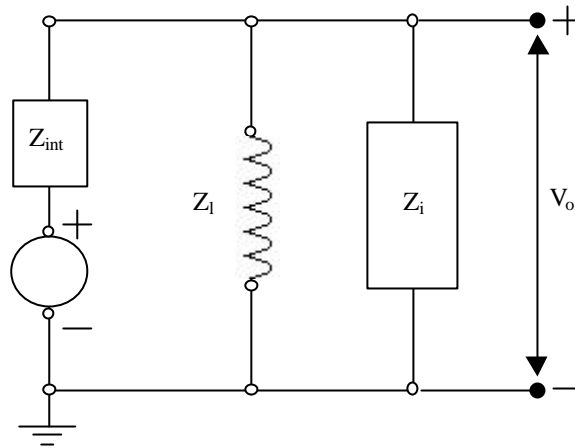


- figura 2.4 -

Questo accorgimento a volte può risultare non attuabile od insufficiente, tanto da rendere necessaria un'altra soluzione che consiste nello **schermare** lo strumento utilizzando una gabbia metallica (figura 2.4) posta al potenziale di riferimento, generalmente la "terra", che riduce l'effetto delle correnti di disturbo: queste, cercando il percorso a minima impedenza, interessano solo la gabbia e si chiudono verso terra, evitando quasi del tutto lo strumento. In questo modo si crea per il disturbo una via di fuga alternativa allo strumento.

### Disturbi di corrente

Per quanto concerne gli accoppiamenti induttivi si nota che la vicinanza dello strumento di misura a circuiti in cui è presente un flusso di corrente è sicura causa di influenza sulla qualità della misura e sulla stima dell'incertezza. La corrente circolante in questi circuiti genera un flusso che, concatenandosi con il circuito di misura, determina disturbi tanto più rilevanti quanto minore è la distanza fra gli apparati e quanto più è intensa la corrente, e cioè quanto più piccola è l'impedenza interna della sorgente. Questa impedenza è a sua volta vincolata alla frequenza ed alla mutua induzione  $M$  secondo un legame di diretta proporzionalità e questo consente di modellare il fenomeno secondo il seguente schema:



- figura 2.5 -

Appare evidente che le correnti trovano in  $Z_l$  un percorso privilegiato quanto più  $Z_l$  risulta piccola.

Per evitare che le correnti accoppiate a causa della mutua induzione investano il sistema di misura è necessario allontanare le sorgenti dal sistema, come nel caso di accoppiamento capacitivo, od ancora schermare l'apparecchiatura di misura con una gabbia ferromagnetica. In questa maniera si crea un percorso a bassa riluttanza mediante il quale lo strumento non viene coinvolto.

Per il ronzio, invece, si usano appositi filtri a 50Hz che, dato un segnale con un certo contributo spettrale, agiscono sagomando lo spettro, tagliandone una parte e permettendo esclusivamente il passaggio delle prime 2 o 3 armoniche.

C'è infine ben poco da fare per i fenomeni elettromagnetici cui il sistema di misura è sottoposto, a causa dell'ampio spettro che occupano.

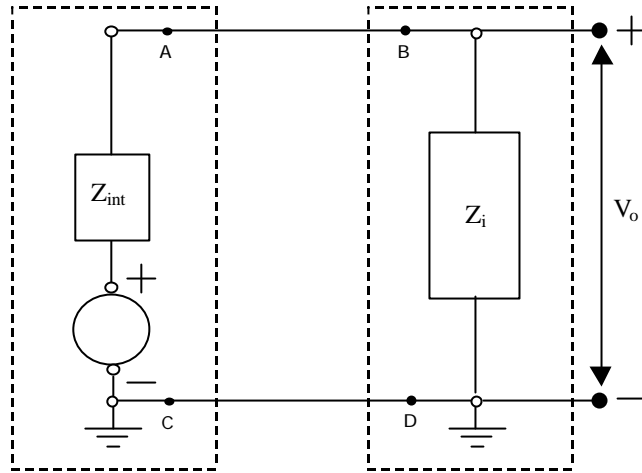
Lo stesso discorso è valido per il rumore termico, ma, mentre per il primo problema l'impatto ambientale è determinante imponendo la scelta di luoghi idonei per effettuare le misurazioni, per il secondo gli unici accorgimenti riguardano i progettisti delle apparecchiature.

### Interferenza di modo comune

Un'altra importante tipologia di sorgenti di rumore è l'**interferenza di modo comune**.

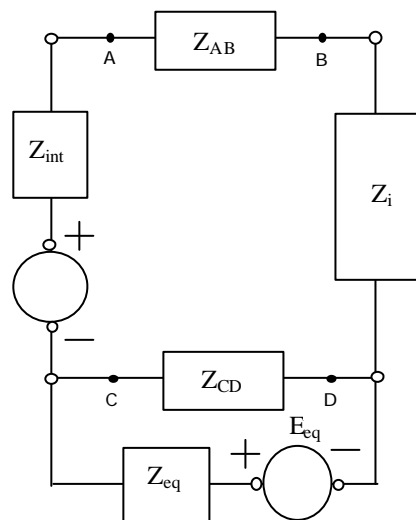
Questa causa di disturbo si manifesta ogni volta che la sorgente di segnale e lo strumento di misura si trovano ad un diverso potenziale di riferimento.

Si consideri, ad esempio, il circuito di misura di figura 2.6, dove un generatore di segnale è connesso con uno strumento di misura di cui è riportata solo la sua impedenza di ingresso  $Z_i$ .



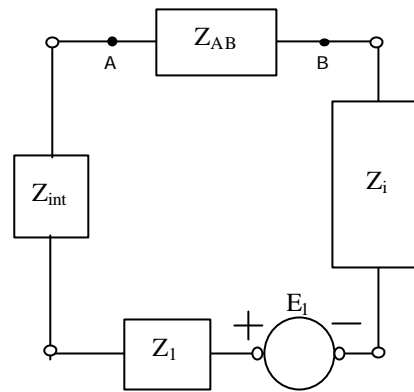
- figura 2.6 -

Sebbene le apparecchiature siano entrambe collegate a terra, i punti C e D potrebbero trovarsi ad un diverso potenziale. In tale caso la loro connessione a terra può essere causa di una sorgente di tensione  $V_{CD}$  di disturbo che si ritrova, quindi, applicata al circuito di misura. Modellando il percorso di terra mediante un generatore ed una impedenza di modo comune, il circuito precedente si schematizza come quello in figura 2.7, dove  $Z_{AB}$  e  $Z_{CD}$  rappresentano le impedenze di collegamento.



- figura 2.7 -

Applicando il teorema di Thevenin si ricava lo schema di figura 2.8



- figura 2.8 -

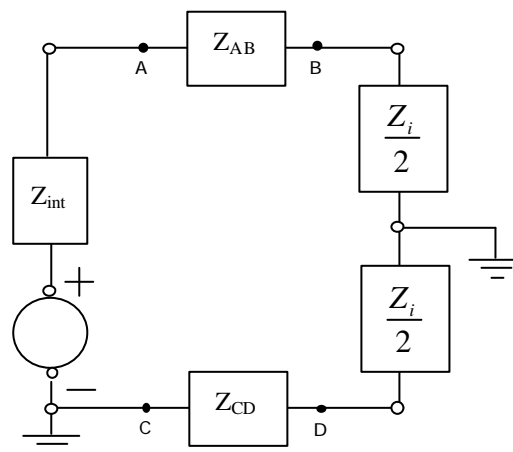
per il quale valgono le seguenti relazioni:

$$E_1 = E_{eq} \cdot \frac{Z_{CD}}{Z_{CD} + Z_{eq}} \quad (2.2)$$

$$Z_1 = Z_{CD} \parallel Z_{eq} \quad (2.3)$$

Generalmente il valore di  $Z_{eq}$  è molto contenuto e di certo è inferiore a  $Z_{CD}$ ; questo permette di desumere che  $E_1$  è circa uguale a  $E_{eq}$ .

Il problema consiste nel fatto che se l'impedenza d'ingresso  $Z_i$  dello strumento è elevata, come in genere accade per gli strumenti numerici, la tensione di modo comune si riporta ai morsetti dello strumento e può causare un forte errore, specie nel caso di misure su tensioni di piccole ampiezze.



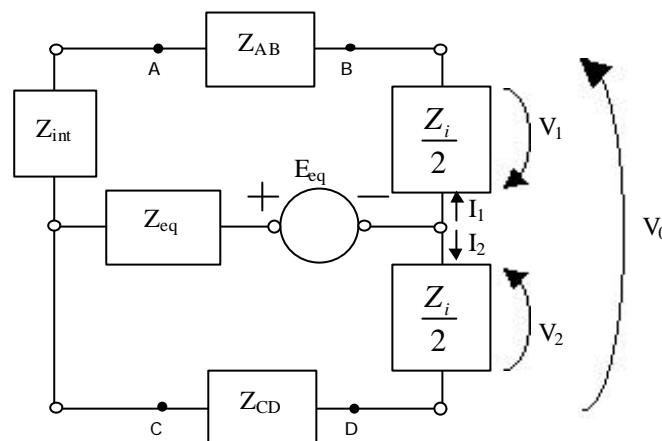
- figura 2.9 -

Una prima soluzione al problema è offerta dagli strumenti ***bilanciati contromassa*** o con ingresso differenziale, ovvero quegli strumenti che hanno i morsetti d'ingresso svincolati dalla massa, così come mostrato in figura 2.9.

Applicando ancora Thevenin, per modellare la tensione di modo comune, si esclude il generatore di segnale utile e  $E_{eq}$  alimenterà due maglie con relativa circolazione di due correnti nelle  $Z_i/2$  come mostrato in figura 2.10.

Le due correnti, a rigore, sono diverse perché interessano percorsi caratterizzati da impedenze diverse. Supponendo, però, che l'impedenza interna della sorgente di disturbo sia molto più piccola delle  $Z_i/2$ , si può ritenere che le due correnti siano uguali.

Questa ipotesi è giustificata dal fatto che lo strumento stesso è dotato di un'elevata impedenza interna per evitare di perturbare il segnale che si desidera analizzare.

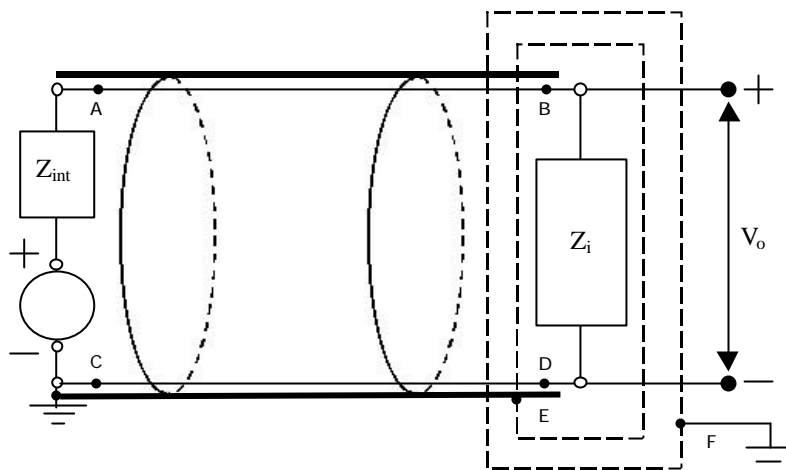


- figura 2.10 -

Ciò che si riscontra nelle apparecchiature bilanciate contromassa è un abbattimento del disturbo; complessivamente l'effetto del disturbo sulle due semi-impedenze tende a bilanciarsi e ad elidersi perché le tensioni  $V_1$  e  $V_2$ , dovute rispettivamente alle correnti  $I_1$  e  $I_2$ , a meno di grosse componenti immaginarie delle  $Z_i/2$  (che determinerebbero un indesiderato sfasamento tra le tensioni e le correnti), risultano tra loro in controfase.

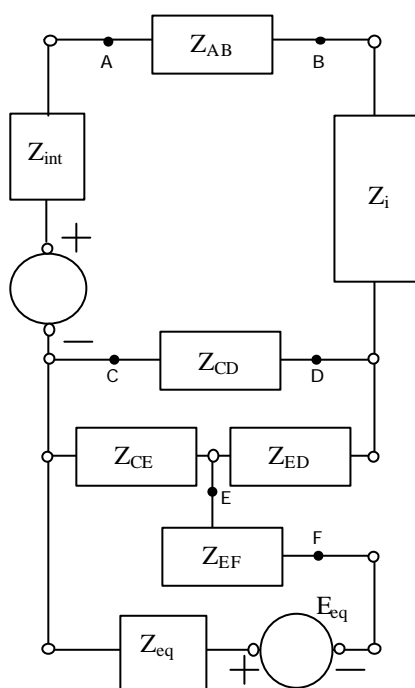
Una seconda soluzione per minimizzare gli effetti dovuti all'interferenza di modo comune consiste nello schermare i cavi di collegamento, come riportato in figura 2.11, e proteggere lo strumento con una doppia schermatura; la più interna è posta allo stesso potenziale dello schermo dei cavi (E) e quella esterna è connessa al potenziale di riferimento (F).

Questa particolare soluzione introduce delle impedenze che abbattano la tensione di modo comune ed aumenta il valore dell'impedenza interna del generatore di disturbo, riducendo complessivamente l'interferenza.



- figura 2.11 -

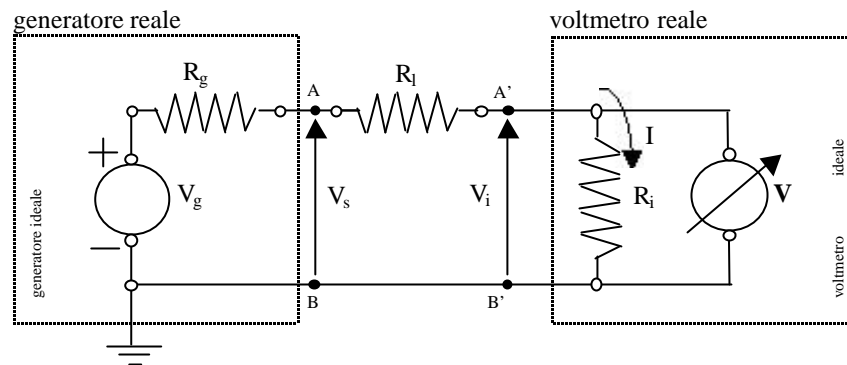
Lo schema a blocchi del sistema è il seguente:



- figura 2.12 -

### Effetti di carico degli strumenti di misura

Per misurare la tensione di uscita  $V_s$  di un generatore di segnale si utilizza un voltmetro come indicato in figura 2.13.



- figura 2.13 -

Si ricorda che un voltmetro ideale è caratterizzato da una resistenza interna infinita e conseguentemente da un assorbimento di corrente nulla.

Il regime di corrente è espresso dalla relazione:

$$V_s = R_l I + R_i I \Rightarrow I = \frac{V_s}{R_l + R_i} \quad (2.4)$$

per cui, la tensione misurata dal voltmetro vale:

$$V_i = \frac{R_i}{R_l + R_i} \cdot V_s \quad (2.5)$$

da cui risulta  $V_i \approx V_s$  solo se vale la relazione  $R_l \gg R_i$ . Questa relazione è certamente valida per la maggior parte dei voltmetri numerici, poiché hanno resistenze di ingresso che sono stimabili tra le decine di M $\Omega$  e le decine di G $\Omega$ . In tali condizioni la corrente  $I$  assorbita dallo strumento risulta praticamente nulla.

Per misurare, ad esempio, la tensione  $V_s=5V$  in uscita da un generatore, si utilizza un voltmetro analogico avente una resistenza di ingresso  $R_{i1}=10k\Omega$  ed un cavo di  $50\Omega$  secondo lo schema di figura 2.13.

In tali condizioni lo strumento misura  $V \approx 4,97512V$  e assorbe una corrente  $I \approx 490\mu A$ .

Usando, invece, un voltmetro numerico, con resistenza di ingresso  $R_{i2}=10M\Omega$  risulta:  $V \approx 4,99997V$  con una corrente assorbita  $I \approx 500nA$ .

Il voltmetro con  $R_i$  maggiore assorbe, dunque, minore corrente dal circuito e si suole dire che esibisce un migliore comportamento di carico.