

Studio del comportamento di una linea disadattata e dell'adattamento con tronco $\lambda/4$

Tramite il programma di simulazione MicroCap della Spectrum Software (la versione demo è scaricabile gratuitamente dal sito www.spectrum-soft.com) è possibile simulare il comportamento di una linea disadattata e verificare che un tronco di linea lungo $\lambda/4$ (o trasformatore in $\lambda/4$) consente di adattare la linea. Consideriamo una linea non dissipativa ($\alpha=0$) avente impedenza caratteristica $Z_0=50 \Omega$, lunga 10λ [m] (cioè 30 m con fattore di velocità $Fv=1$) e chiusa su un carico $R_u=150 \Omega$. La linea è alimentata da un generatore sinusoidale avente valore efficace (a vuoto) $E=2$ V, quindi ampiezza (valore di picco) $A_p = E\sqrt{2}$ [V], frequenza 100 MHz e impedenza interna $Z_g=50 \Omega$.

Si vuole verificare che:

- a) all'istante iniziale e finché si ha solo l'onda diretta l'impedenza di ingresso (data da $Z_{in}=V_{in}/I_{in}$) è pari all'impedenza caratteristica e non varia nel tempo; inoltre la potenza in ingresso è pari alla potenza disponibile di generatore;
- b) dal momento in cui l'onda riflessa dal carico (disadattato) giunge ai morsetti di ingresso si hanno variazioni della Z_{in} , accompagnate da una variazione della tensione di uscita, della corrente di uscita e una diminuzione della potenza fornita al carico; essendo la lunghezza della linea un multiplo intero di $\lambda/2$ l'impedenza d'ingresso risulta uguale a quella di carico;
- c) inserendo un trasformatore in $\lambda/4$ tra linea e carico si adattare la linea, cioè si ha che l'impedenza di ingresso e quella di uscita della linea sono pari a $Z_0=50 \Omega$, l'impedenza di ingresso dell'adattatore è pari a $Z_{inA}=Z_{outLinea}=50 \Omega$, mentre quella di uscita è pari a $Z_{out}=R_u=150 \Omega$;
- d) al variare della frequenza varia la Z_{in} del tronco $\lambda/4$, che assume il valore 50Ω quando la variazione di frequenza determina una variazione di $\lambda/4$ e il valore 150Ω quando la variazione di frequenza determina una variazione di $\lambda/2$.

Simulazione

Si avvii il programma Microcap e nel foglio bianco che appare (*schematic*) si disegni il circuito proposto inserendo i vari componenti (*component*). Per fare questo si selezioni dal menu Component il componente desiderato, iniziando dal generatore sinusoidale, Fig. 1, immettendo nel campo PART il nome che si intende dare al generatore, nel campo MODEL il modello della sorgente sinusoidale GENERAL e assegnando i valori di ampiezza (A) e frequenza (F) desiderati, Fig. 2.

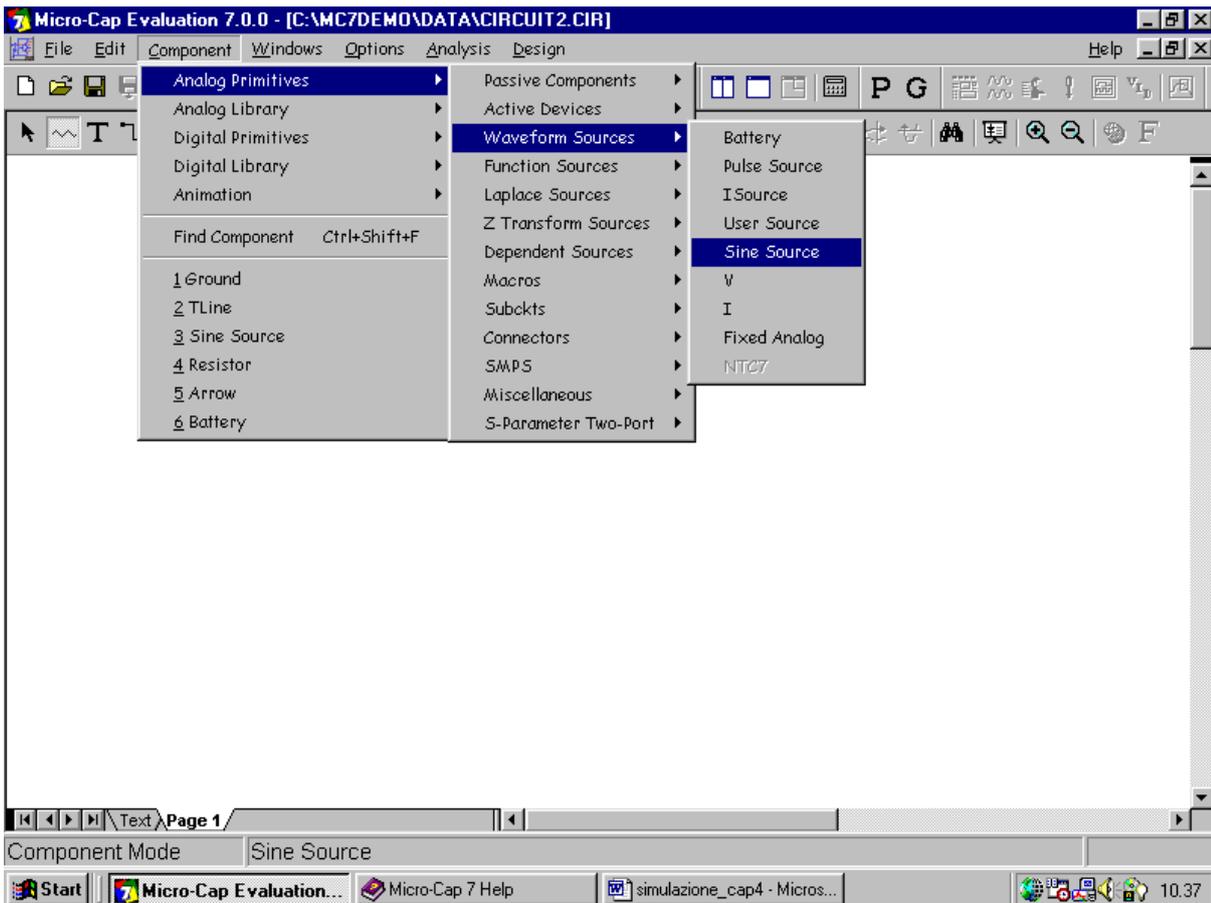


Fig. 1 Selezione del componente generatore sinusoidale.

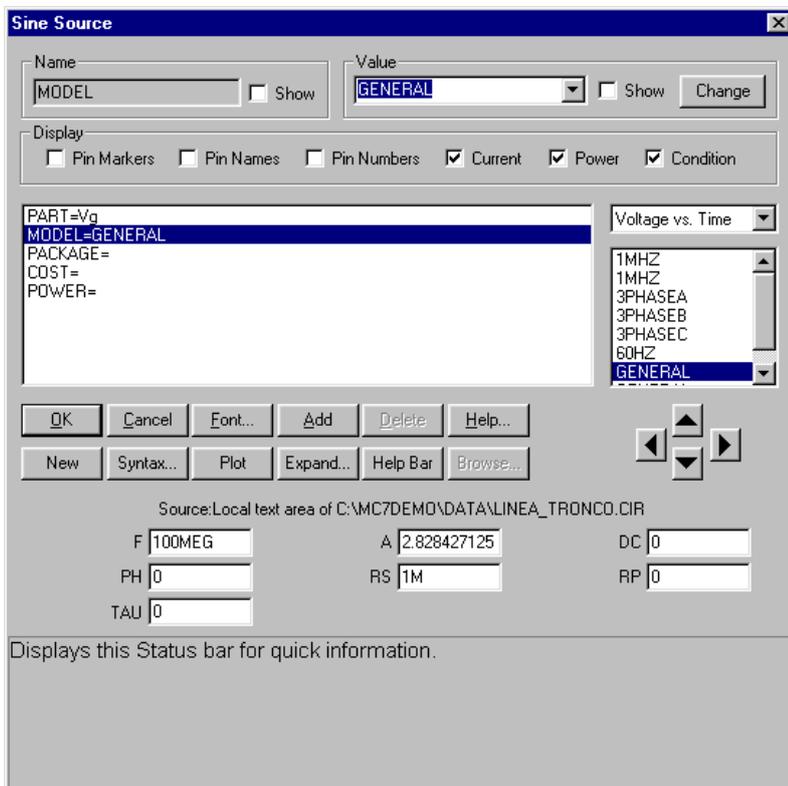


Fig. 2 inserimento dei valori

In modo analogo si inseriscano la resistenza di generatore R_g (component→analog primitives→passive component→Resistor), la linea (Tline) e la resistenza di carico, figg 3, 4, 5, 6. Per quanto concerne la linea è possibile scegliere tra una linea non dissipativa e una linea dissipativa specificando i relativi parametri nel campo VALUE (è possibile avere una descrizione completa tramite l'HELP in linea ricercando la descrizione del componente Tline). Per una linea non dissipativa va specificata l'impedenza caratteristica ($Z_0=50$) la frequenza di lavoro ($f=100\text{meg}$) la lunghezza della linea espressa in termini di numero di lunghezze d'onda ($nl=10$). La linea ha due coppie di morsetti denominate a e b, che dovranno essere utilizzate per determinare la corrente in ingresso e in uscita dalla linea. Bisogna prestare attenzione al fatto che con m si indicano i milli (10^{-3}) mentre per dare una grandezza in mega (10^6) si deve digitare meg (o mega o 106 o E6).

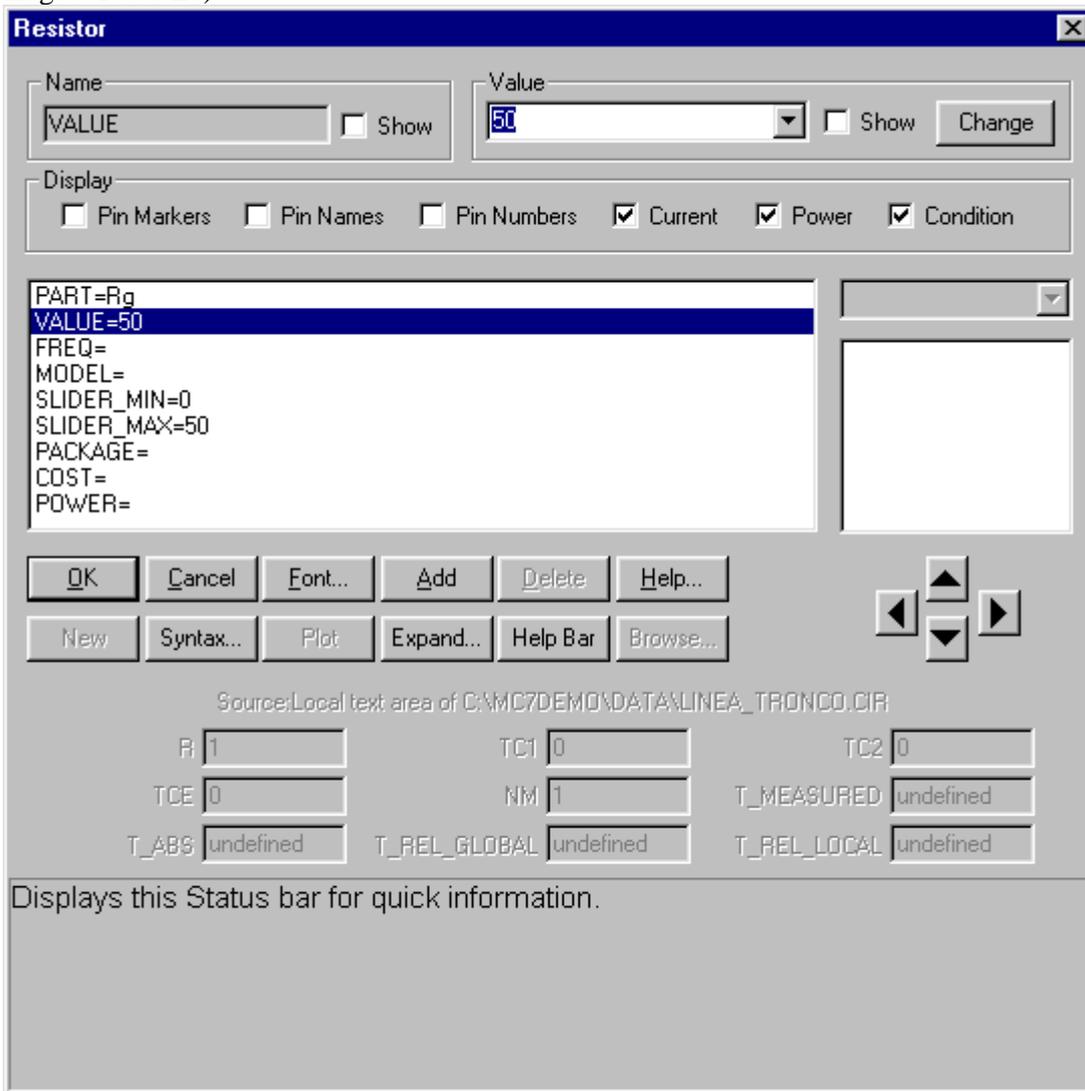


Fig. 3 Inserimento valori per R_g .

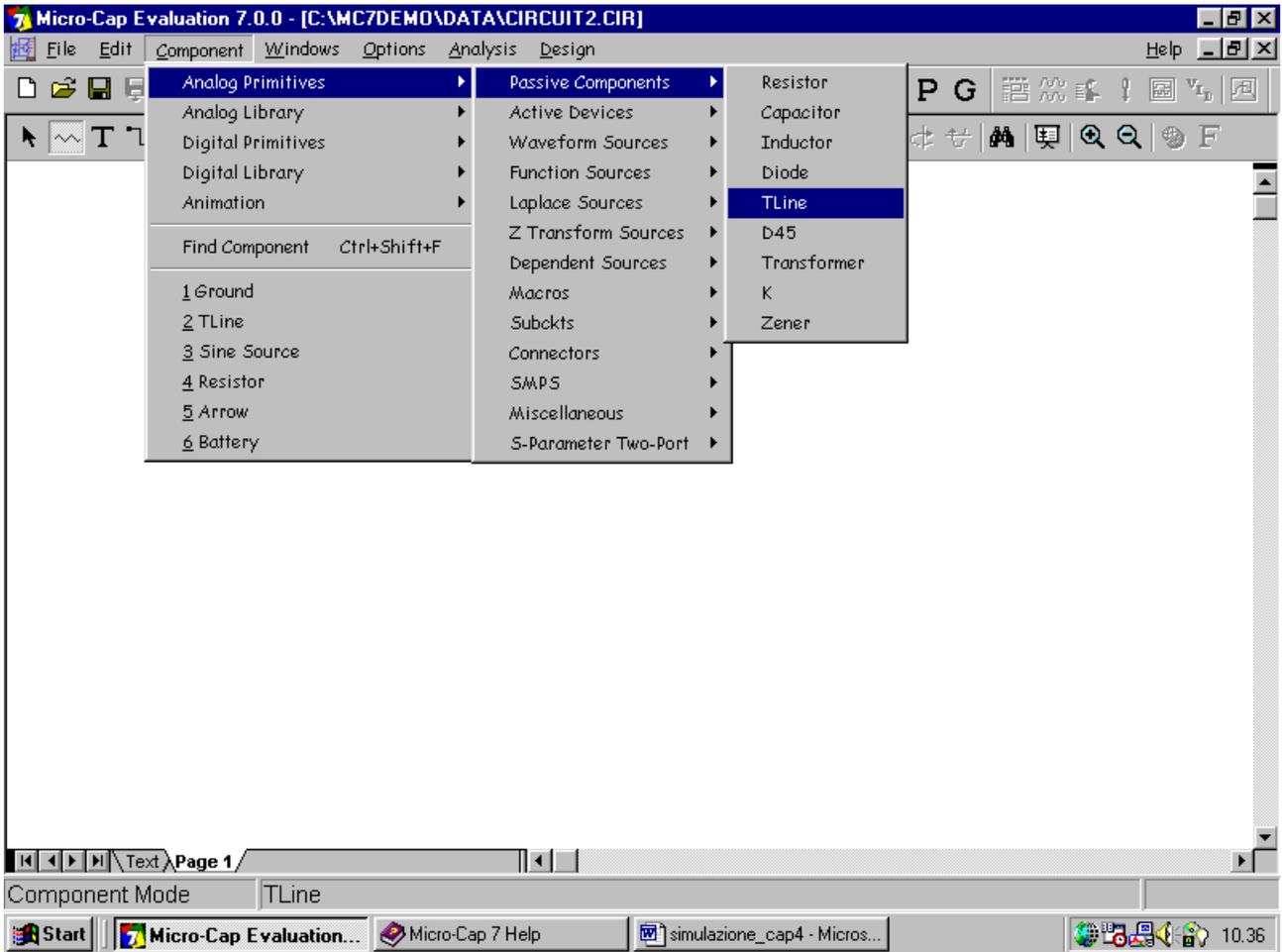


Fig. 3 Selezione del componente Tline (Transmission Line).

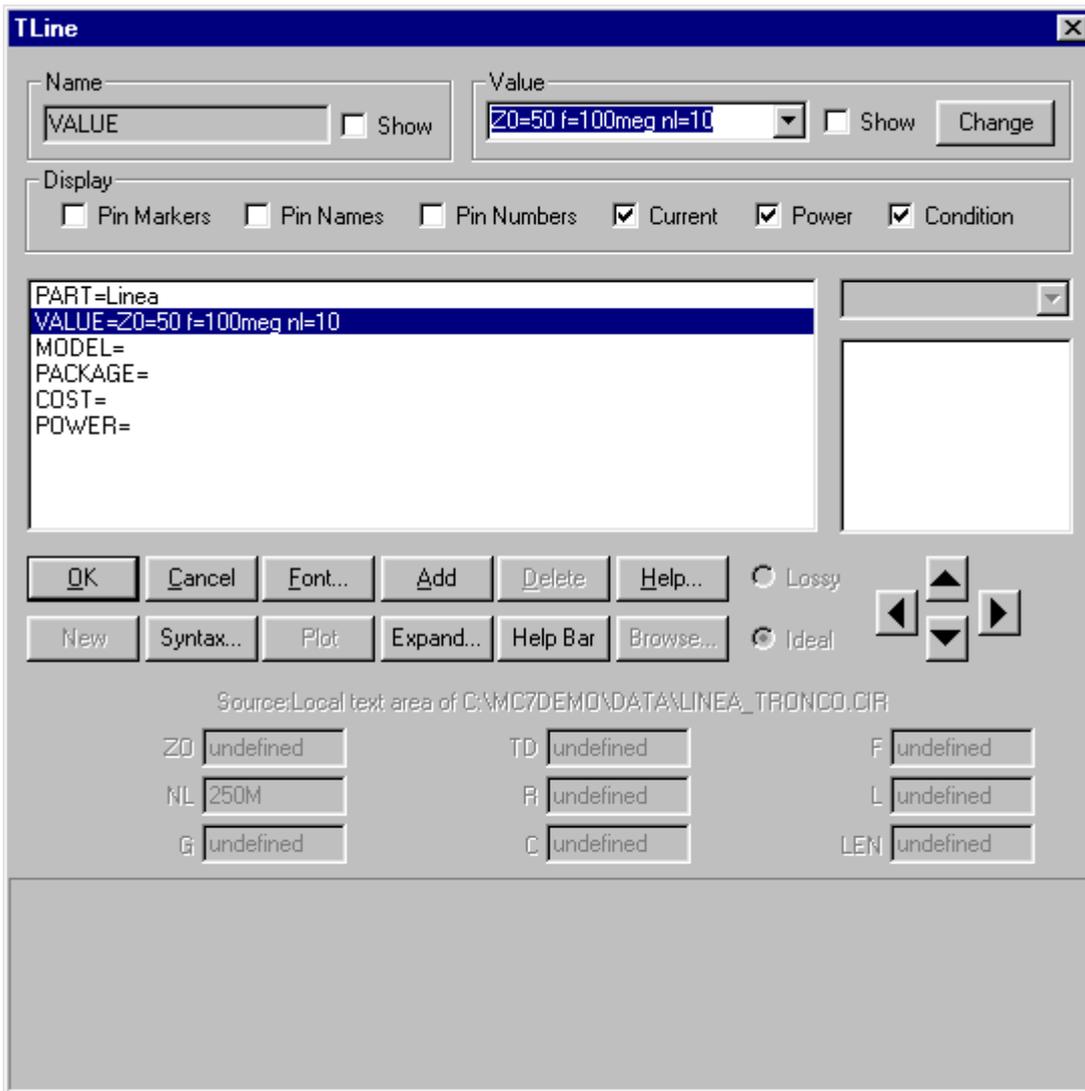


Fig. 5 Inserimento valori per Tline.

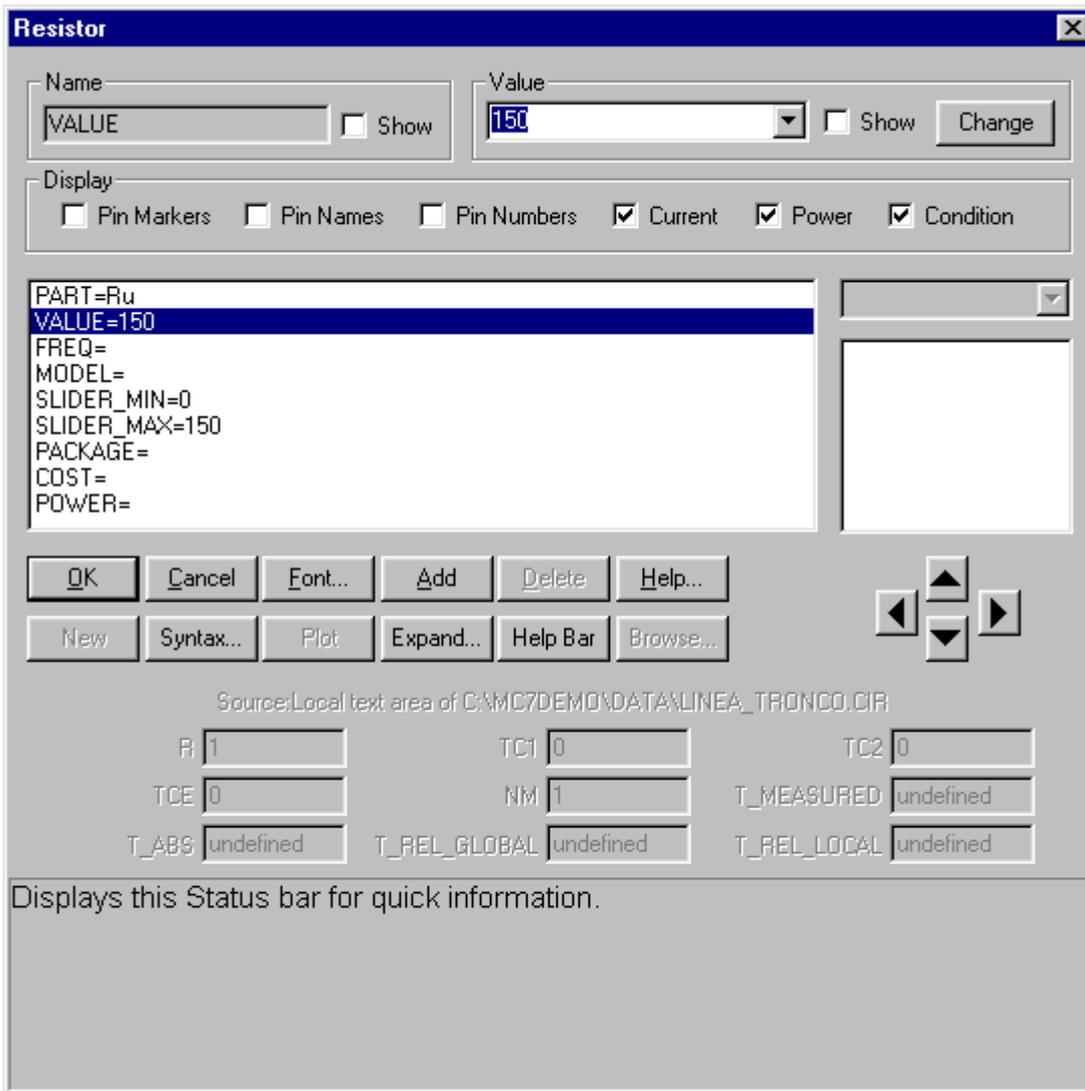


Fig. 6 Inserimento valori per Ru.

Se si desidera inserire del testo nel disegno è sufficiente selezionare l'icona T nella barra dei menu e cliccare in un punto del disegno: compare la finestra di fig. 7 in cui si può inserire un testo che verrà riportato nel disegno.

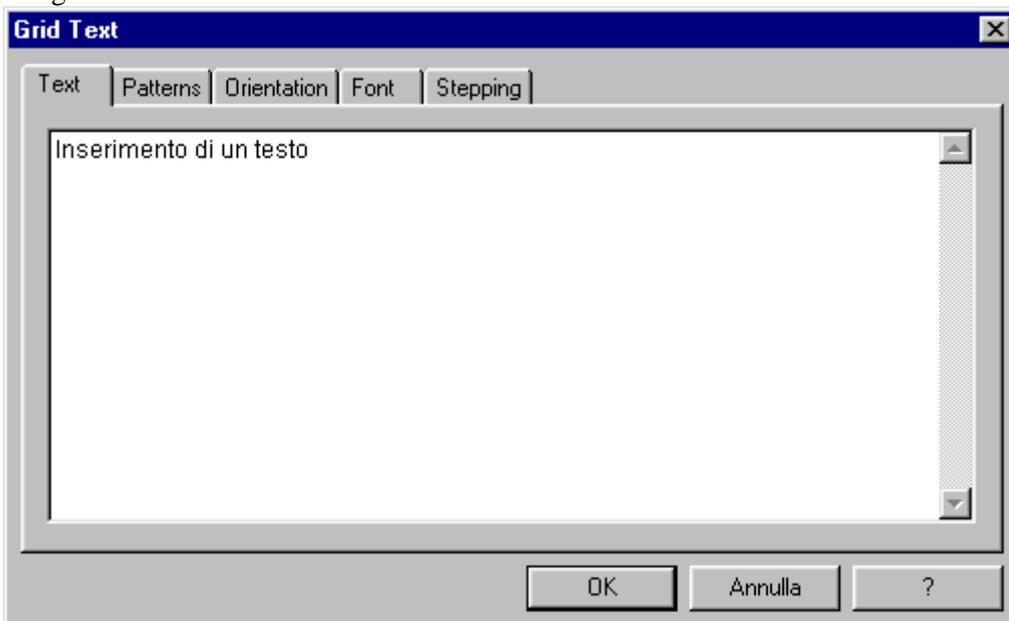


Fig. 7 Inserimento di un testo.

Alla fine si otterrà il disegno della linea da analizzare riportato in figura 8

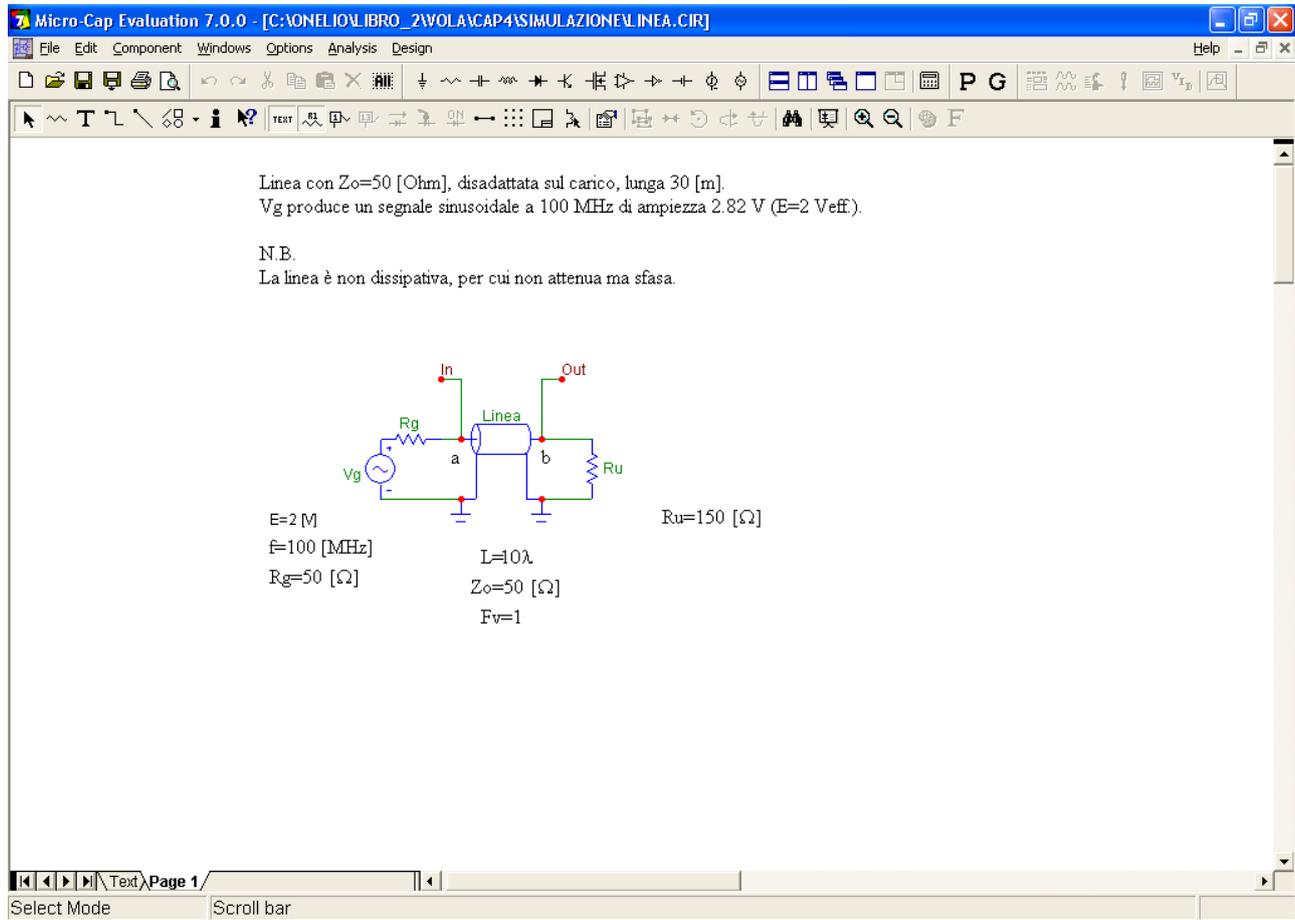


Fig. 8 Linea disadattata

Se si desidera modificare o spostare un componente è necessario selezionarlo attivando l'opzione *select mode* (↑) della barra dei menu.

Si può ora passare all'analisi, iniziando con l'analisi nel dominio del tempo effettuata tramite il menu Analysis→Transient, Fig. 9.

a) Alcune considerazioni teoriche preliminari, che dovranno essere confermate dalla simulazione, sono le seguenti: supponendo che la velocità di propagazione sia quella della luce, a 100 [MHz] la lunghezza d'onda è pari a $\lambda=3 \cdot 10^8 / 10^8 = 3$ [m] e quindi linea è lunga 30 [m]; il tempo di propagazione deve risultare pari a $t_p=L/v_p=30/3 \cdot 10^8=0.1$ [μ s].

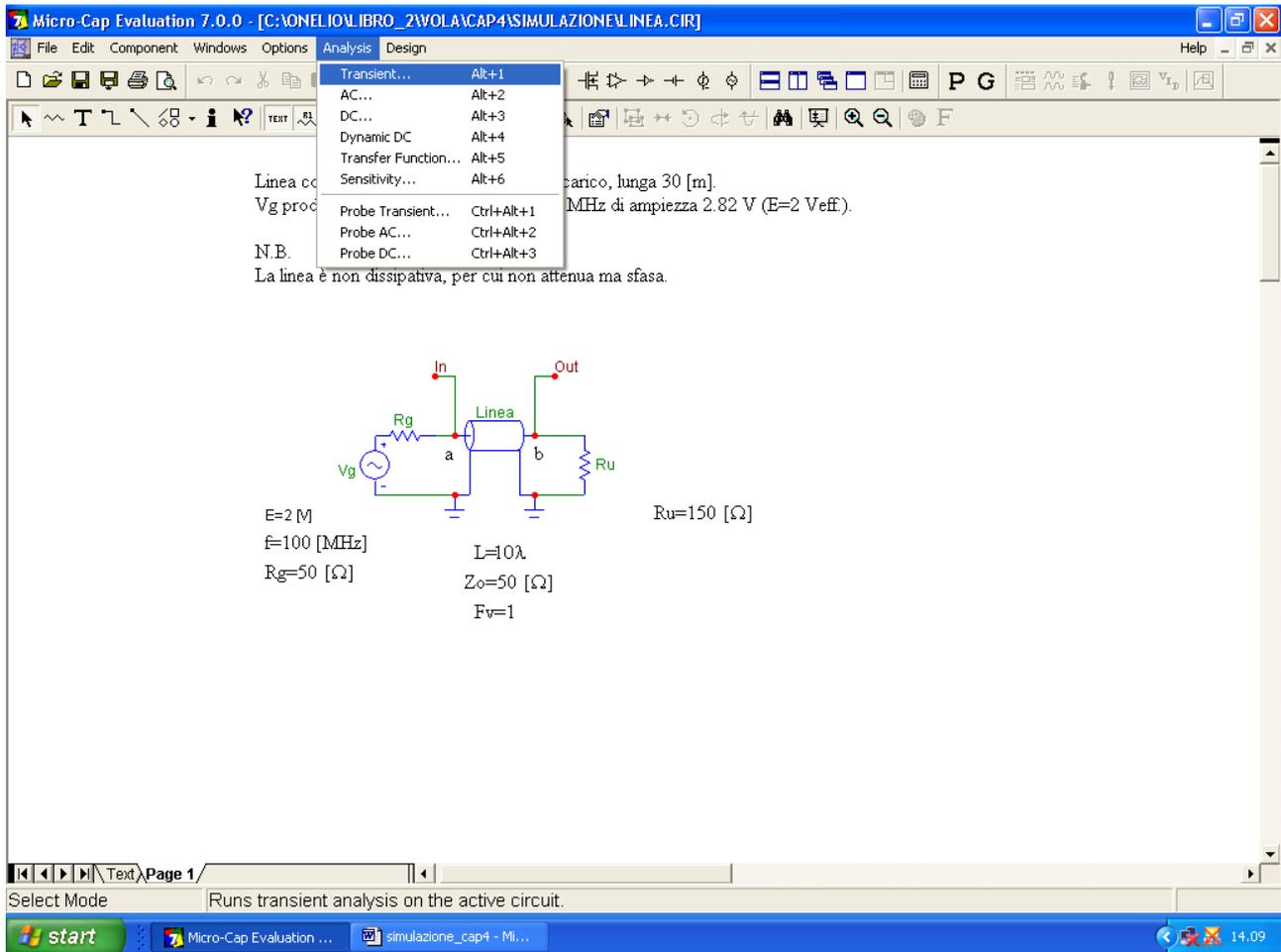


Fig. 9 Selezione dell'analisi *Transient*.

Con l'analisi Transient di MicroCap 7.0 è possibile visualizzare l'andamento del valore efficace (*RMS, Root Mean Square*, in inglese) delle tensioni in ingresso e in uscita, delle correnti ai morsetti a e b della linea ($I_a(\text{linea})$), nonché la potenza di ingresso e in uscita, calcolata come prodotto dei valori efficaci di tensione e corrente, e di ingresso, Z_{in} , calcolata come rapporto tra la V_{in} e la $I_a(\text{linea})$. L'impostazione dei limiti da assegnare all'analisi Transient è mostrata in figura 10; indicando un numero nel campo P (*Plot*) si abilita il tracciamento della curva relativa alla grandezza desiderata nella finestra avente numero corrispondente. Se si assegna lo stesso numero a due grandezze esse verranno tracciate sulla stessa finestra.

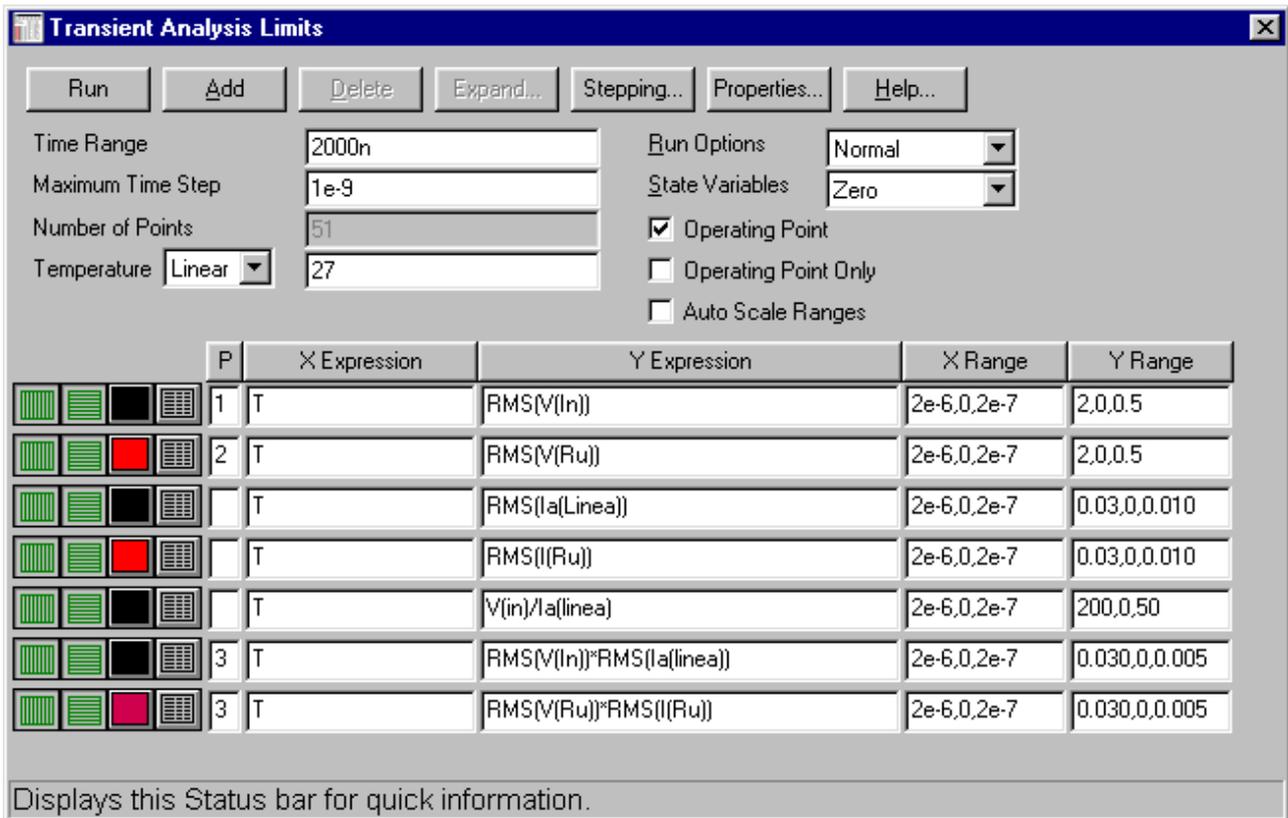


Fig. 10 Impostazione dei limiti per l'analisi Transient.

Nella figura 11 è riportato il risultato dell'analisi Transient che determina l'andamento del valore efficace della tensione di ingresso, $V(In)$, e di uscita, $V(Ru)$, della potenza di ingresso, $P_{in}=V_{eff} \cdot I_{eff} = \text{RMS}(V(in)) \cdot \text{RMS}(Ia(\text{linea}))$, e di uscita, $P_u = V_{eff} \cdot I_{eff} = \text{RMS}(V(Ru)) \cdot \text{RMS}(I(Ru))$ al variare del tempo, mentre nella figura 12 è riportato l'andamento del valore efficace della corrente di ingresso, $Ia(\text{linea})$, e di uscita, $I(Ru)$, nonché dell'impedenza di ingresso, $Z_{in} = V(in)/Ia(\text{linea})$.

Dalle Figg. 11 e 12 si ricava che il tempo di propagazione è pari a $0.1 \mu\text{s}$. Infatti la tensione di uscita comincia a variare dopo $0.1 \mu\text{s}$, mentre l'impedenza di ingresso varia dopo $0.2 \mu\text{s}$. A partire da questo istante, infatti, l'onda riflessa dal carico giunge in ingresso. Per i primi $0.2 \mu\text{s}$ la Z_{in} è pari a 50Ω , poi varia. Risulta così verificato che all'istante iniziale si ha solo l'onda diretta e che successivamente la presenza dell'onda riflessa provoca una variazione della Z_{in} . Le figure 11 e 12 mostrano quindi che finché l'onda riflessa non giunge sul generatore, e ciò accade dopo un tempo pari a $2t_p = 0.2 \mu\text{s}$, il valore efficace della tensione, della corrente, e la potenza sono pari a quelli dell'onda diretta, cioè dell'onda che si avrebbe in adattamento: $|V_{in}| = E/2 = 1 \text{ [V]}$; $|I_{in}| = E/2Z_o = 20 \text{ [mA]}$; $P_{in} = E^2/4Z_o = |V_{in}| \cdot |I_{in}| = 20 \text{ [mW]}$; inoltre si ha $Z_{in} = Z_o = 50 \Omega$.

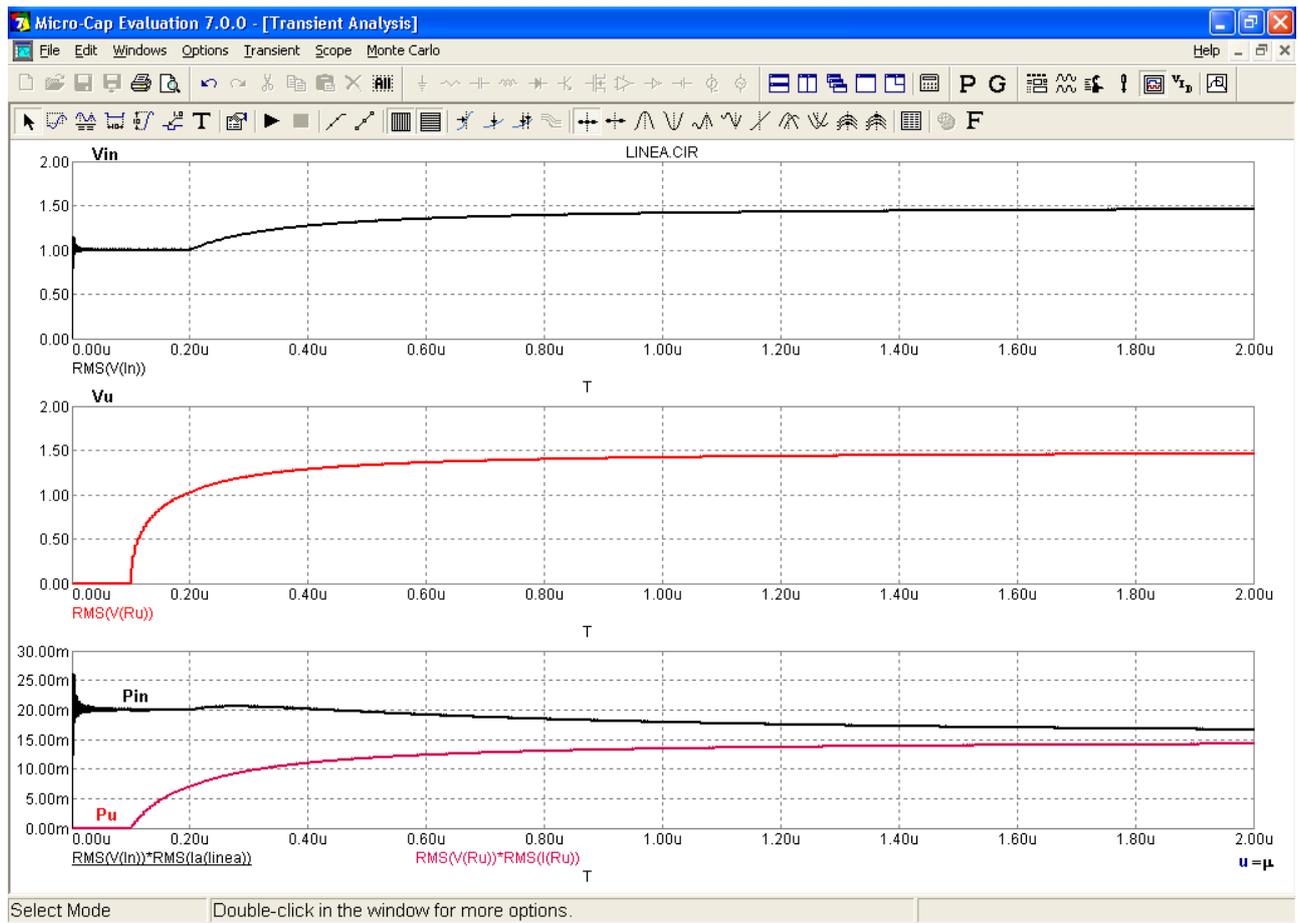


Fig. 11 Andamento del valore efficace della tensione di ingresso, $V(In)$, e di uscita, $V(Ru)$, della potenza di ingresso e di uscita al variare del tempo.

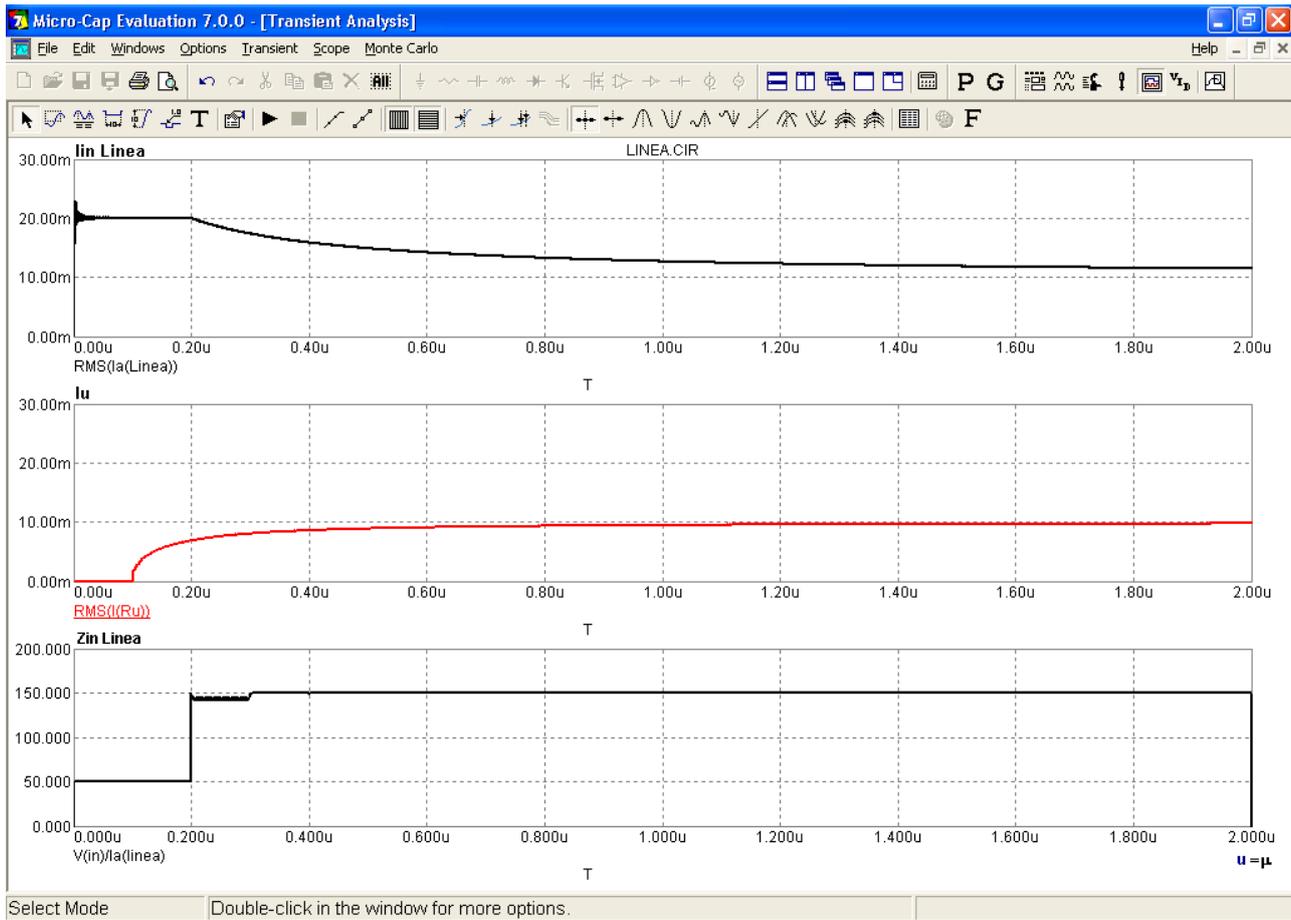


Fig. 12 Andamento del valore efficace della corrente di ingresso, $I_a(\text{linea})$, e di uscita, $I(R_u)$, nonché dell'impedenza di ingresso, $V(\text{in})/I_a(\text{linea})$.

b) Dalla teoria i valori che ci si attende per la tensione, la corrente e la potenza forniti al carico sono i seguenti:

$$\rho_v = \frac{Z_u - Z_o}{Z_u + Z_o} = \frac{100}{200} = 0.5$$

$$|V_u| = |V_{dir}|(1 + \rho_v) = 1(1 + 0.5) = 1.5 \text{ [V]}$$

$$|I_u| = |I_{dir}|(1 - \rho_v) = 20_{mA}(1 - 0.5) = 10 \text{ [mA]}$$

$$P_u = P_{dir} \cdot (1 - \rho_v^2) = 15 \text{ [mW]}$$

dove, essendo la linea non dissipativa, i valori dell'onda diretta in ingresso e in uscita coincidono e valgono: $|V_{dir}| = E/2 = 1 \text{ [V]}$; $|I_{dir}| = E/2Z_o = 20 \text{ [mA]}$; $P_{dir} = E^2/4Z_o = |V_{dir}| \cdot |I_{dir}| = 20 \text{ [mW]}$; si ricorda che $\rho_r = -\rho_v$.

Inoltre essendo la lunghezza della linea un multiplo intero di $\lambda/2$ ci si aspetta che l'impedenza di ingresso assuma un valore pari a quella di carico: $Z_{in} = R_u = 150 \text{ [\Omega]}$.

Le figg. 11 e 12 confermano tutto ciò in quanto mostrano come in una linea disadattata la tensione, la corrente, la potenza e l'impedenza d'ingresso varino rispetto a quelli che si hanno all'istante iniziale (onda diretta) per via della presenza dell'onda riflessa.

Infatti dalla comparazione dei grafici si rileva che, a causa del disadattamento ed essendo $\rho_v > 0$, la tensione di uscita aumenta rispetto all'onda diretta, mentre la corrente fornita al carico diminuisce per cui la potenza fornita al carico diminuisce rispetto a quella diretta. I valori rilevati sono poi in accordo con quelli teorici.

c) Inserendo un tronco $\lambda/4$ avente impedenza caratteristica $Z^A_o = \sqrt{Z^{Linea}_o \cdot Z_u} = \sqrt{50 \cdot 150} = 86.6 \text{ } [\Omega]$ è possibile ripristinare l'adattamento. In Fig. 13 è riportato l'inserimento dei valori del componente Tline con cui si simula il tronco $\lambda/4$ che funge da adattatore, mentre in Fig. 15 è riportato il disegno della linea adattata.

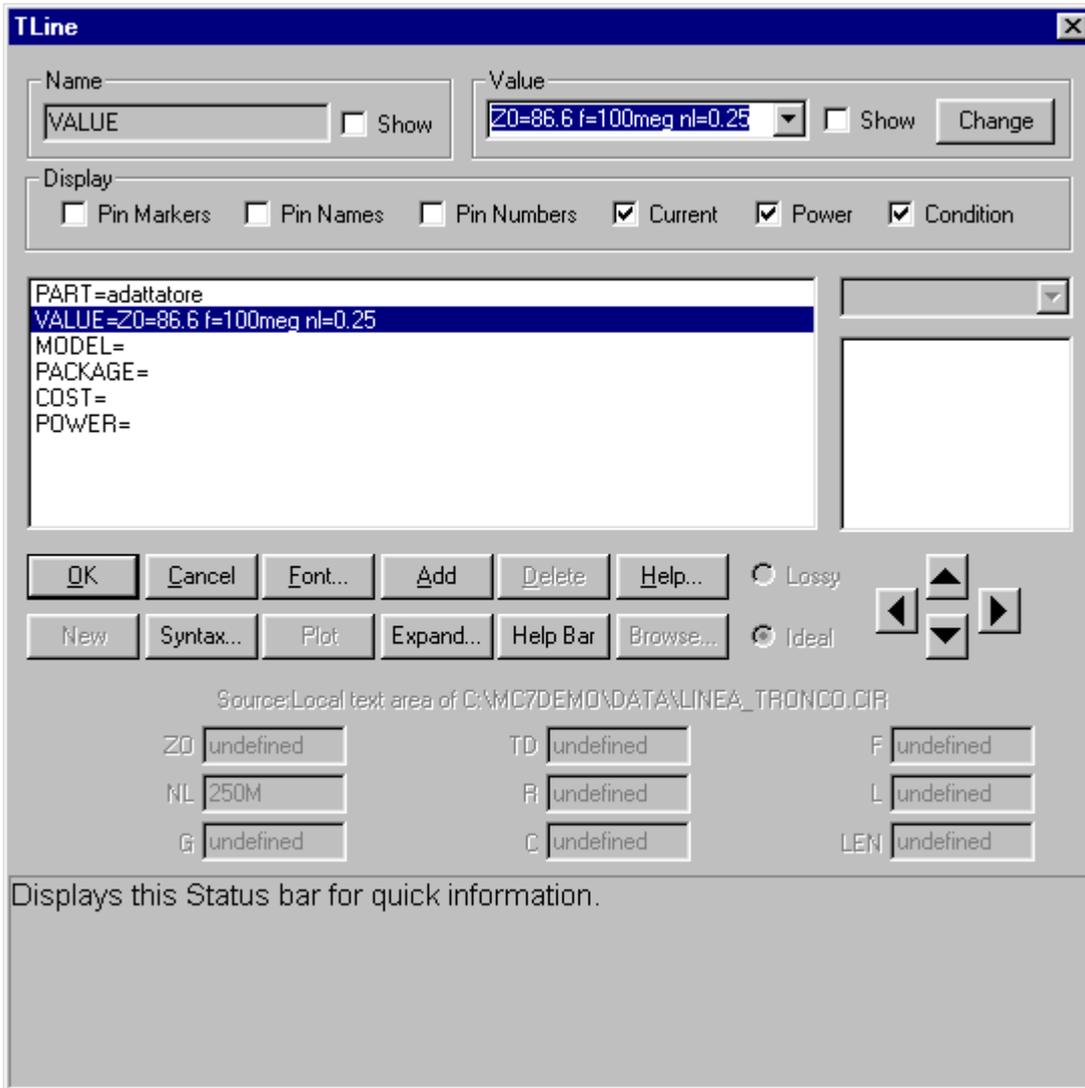


Fig. 13 Valori da assegnare per il tronco di linea che funge da adattatore.

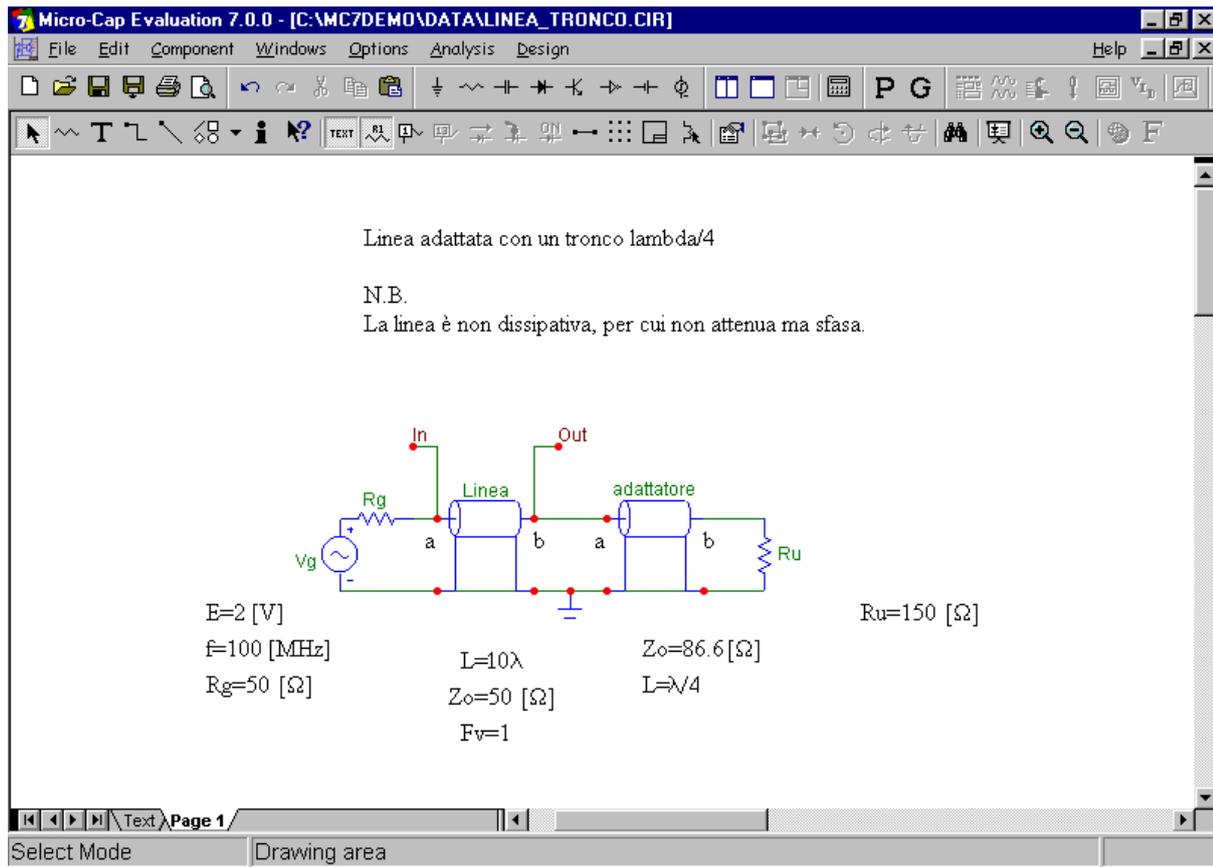


Fig. 14 Linea adattata

In Fig. 15 è riportata l'impostazione dei limiti per eseguire l'analisi Transient sulla linea adattata. In fig. 16 è riportato l'andamento delle impedenze di ingresso e di uscita della linea e dell'adattatore, da cui si evince che essendo $Z_{in}^A = Z_{o}^{Linea} = 50$ [Ω] e $Z_{out}^A = R_u = 150$ [Ω] viene ripristinato l'adattamento.

Le figg. 17 e 18 confermano infatti che la tensione, la corrente e la potenza in ingresso alla linea, in uscita dalla linea e in ingresso all'adattatore raggiungono un valore pari a quello dell'onda diretta. Adattando la linea si è così ottenuta l'assenza di riflessioni e il massimo trasferimento di potenza.

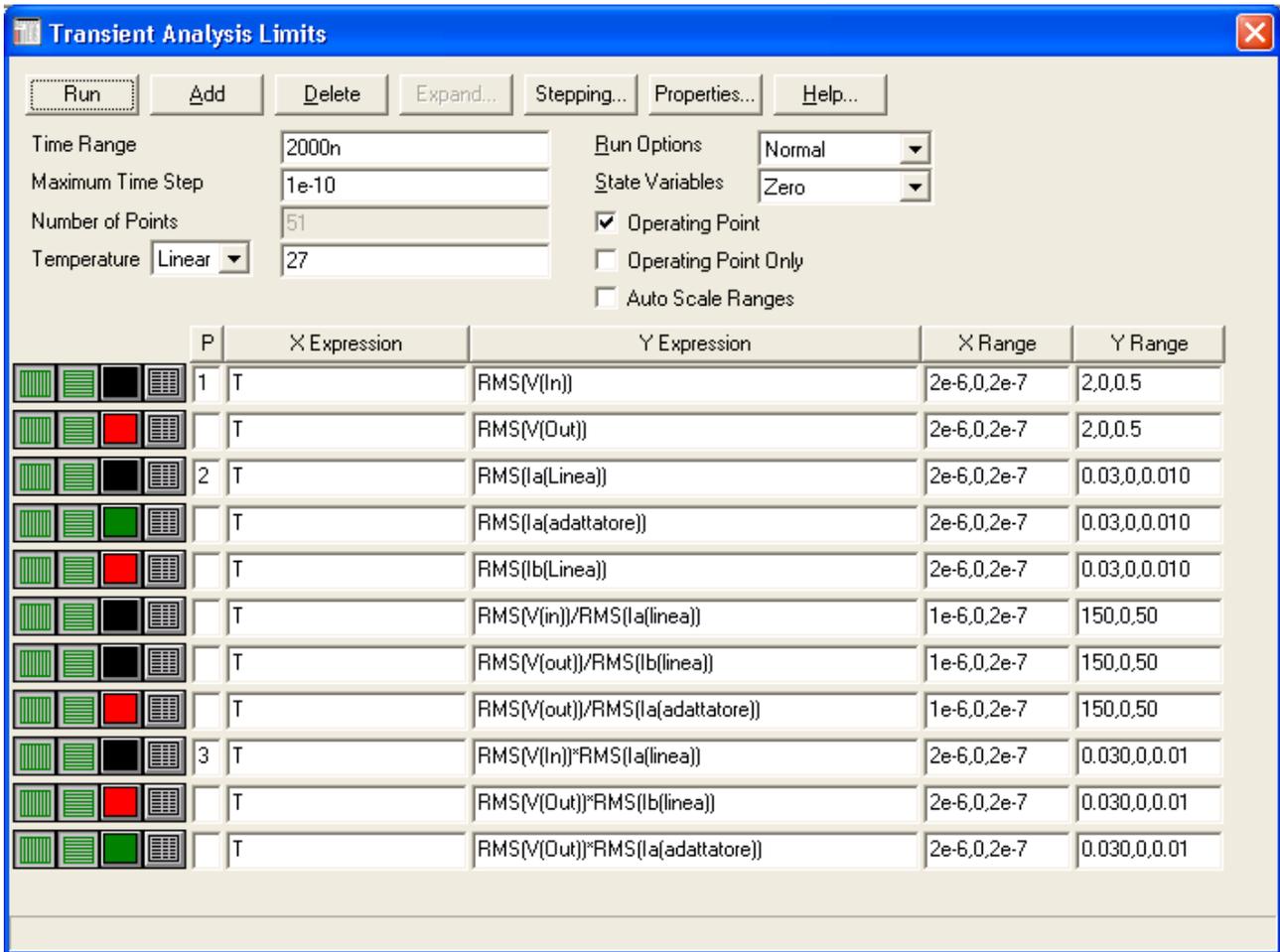


Fig. 15 Impostazione dei Limits dell'analisi Transient.

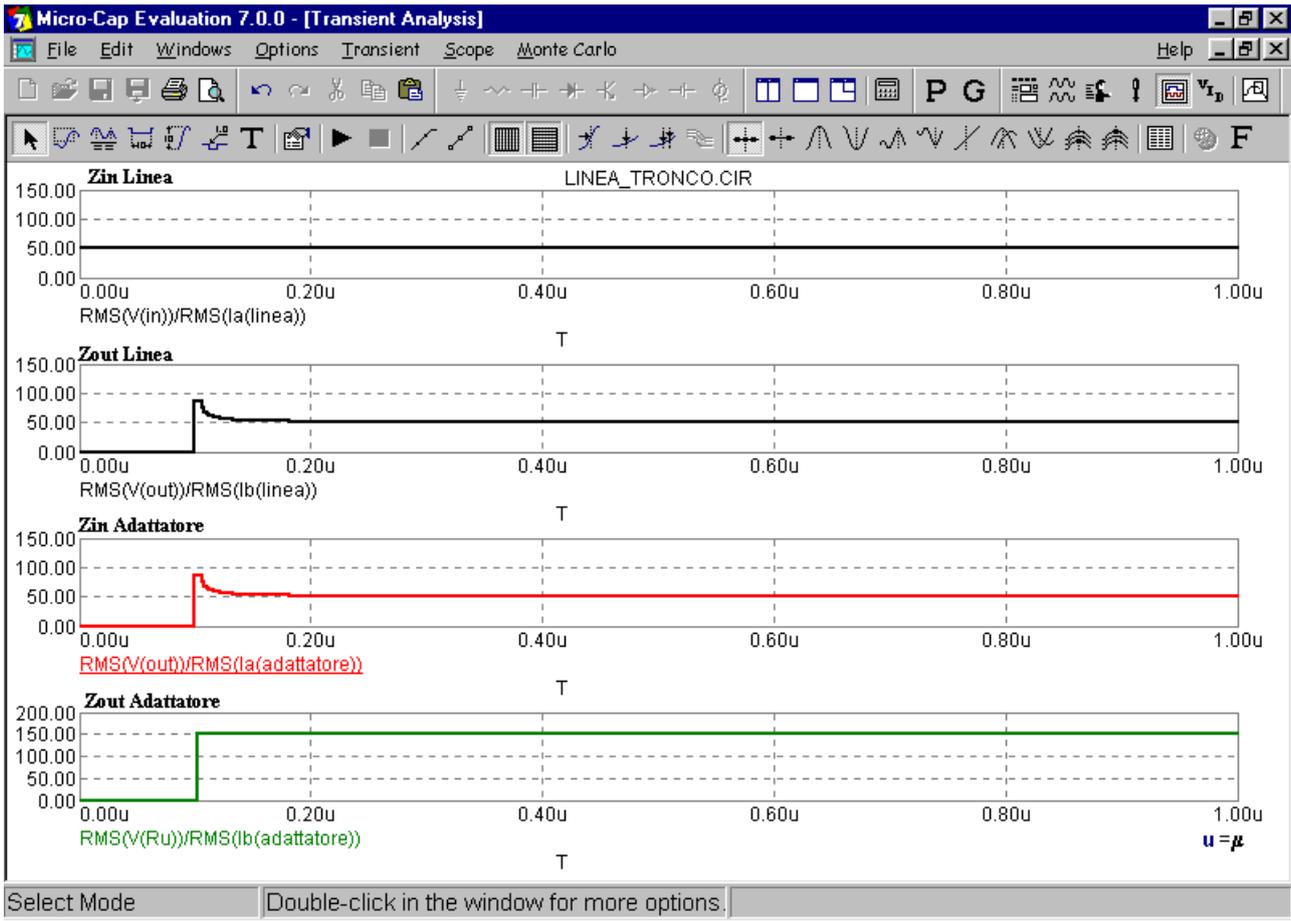


Fig. 16 Impedenze di ingresso e di uscita della linea e dell'adattatore

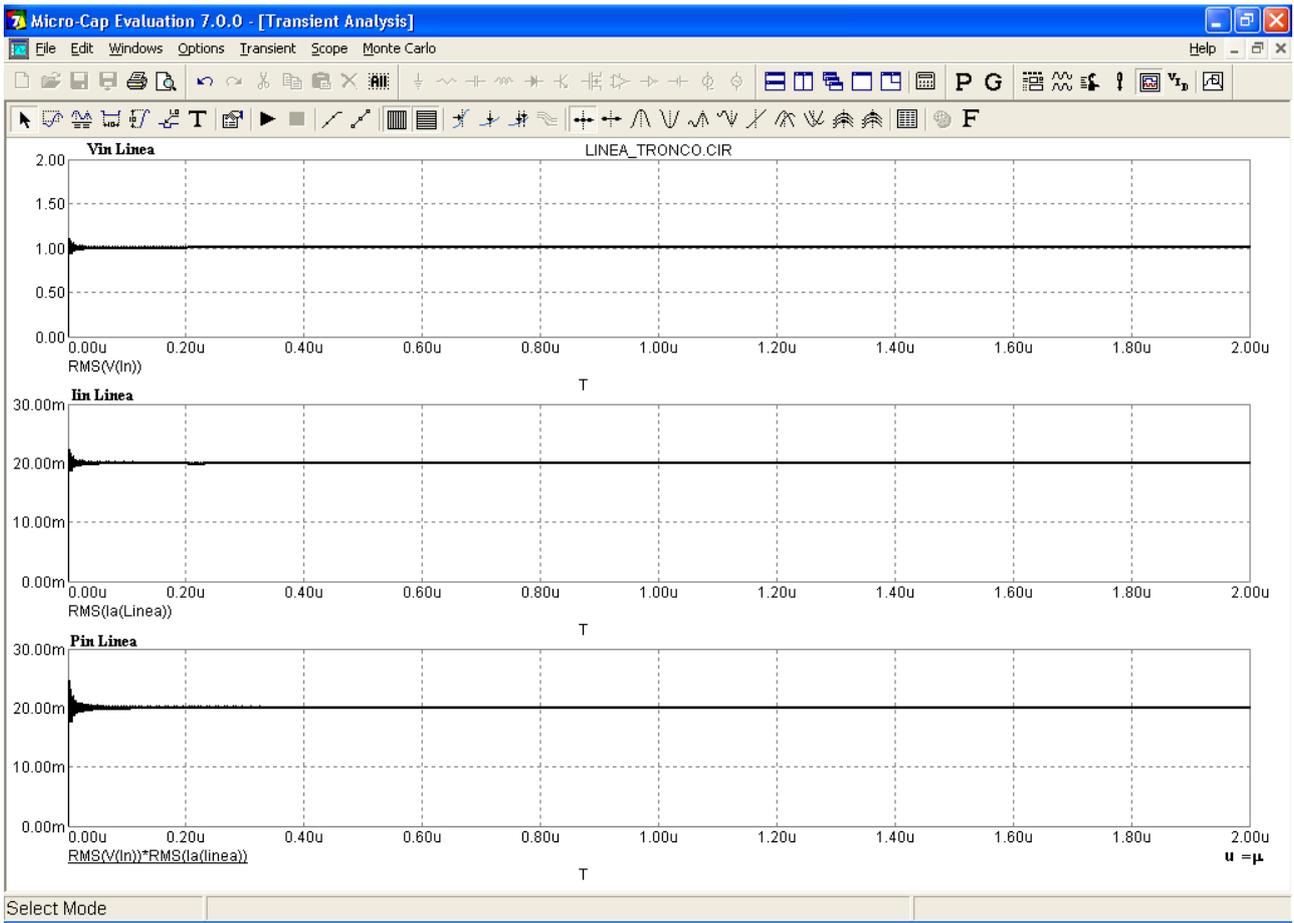


Fig. 17 Tensione, corrente, potenza in ingresso alla linea.

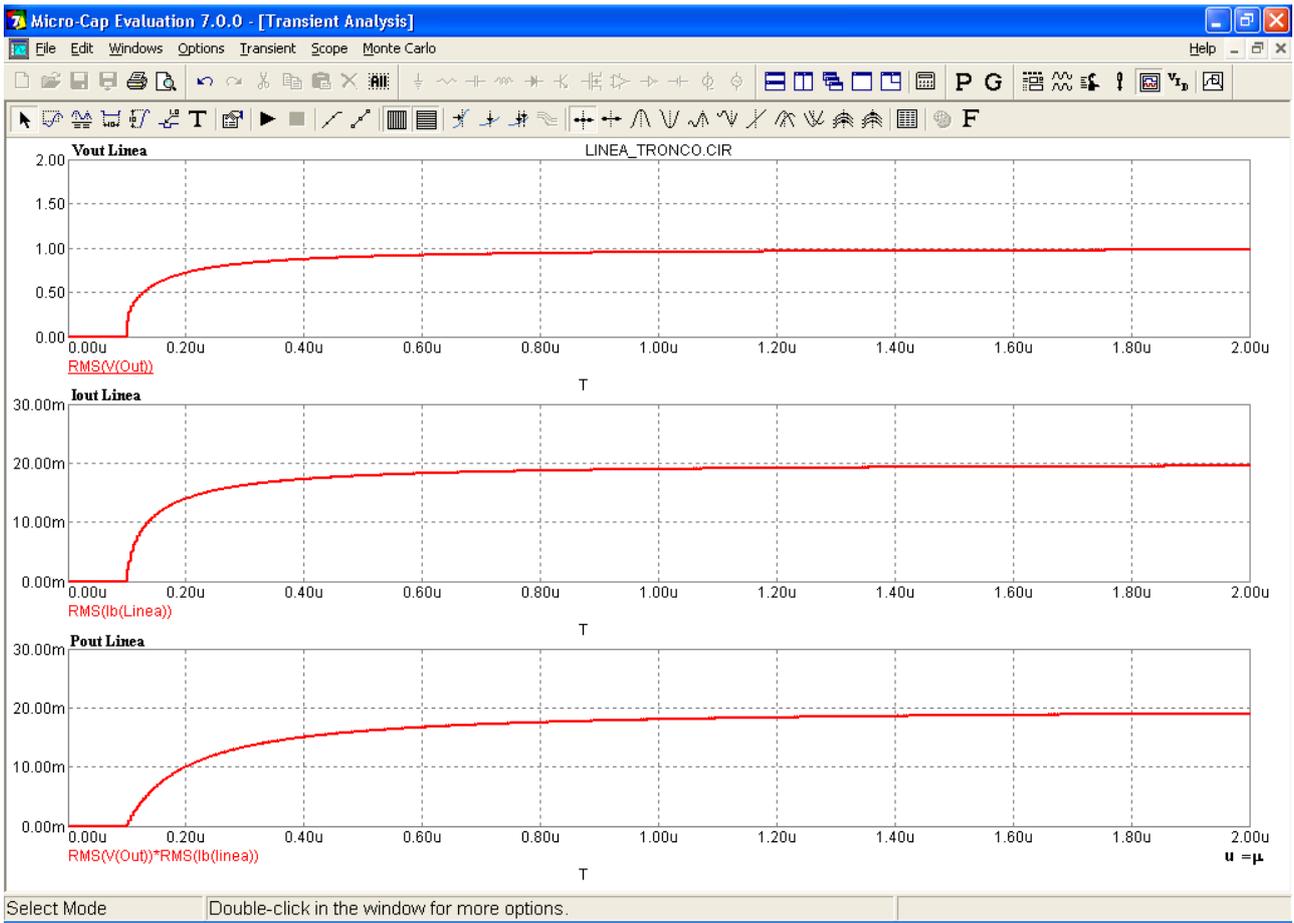


Fig. 18 Tensione, corrente, potenza ai morsetti di uscita della linea.

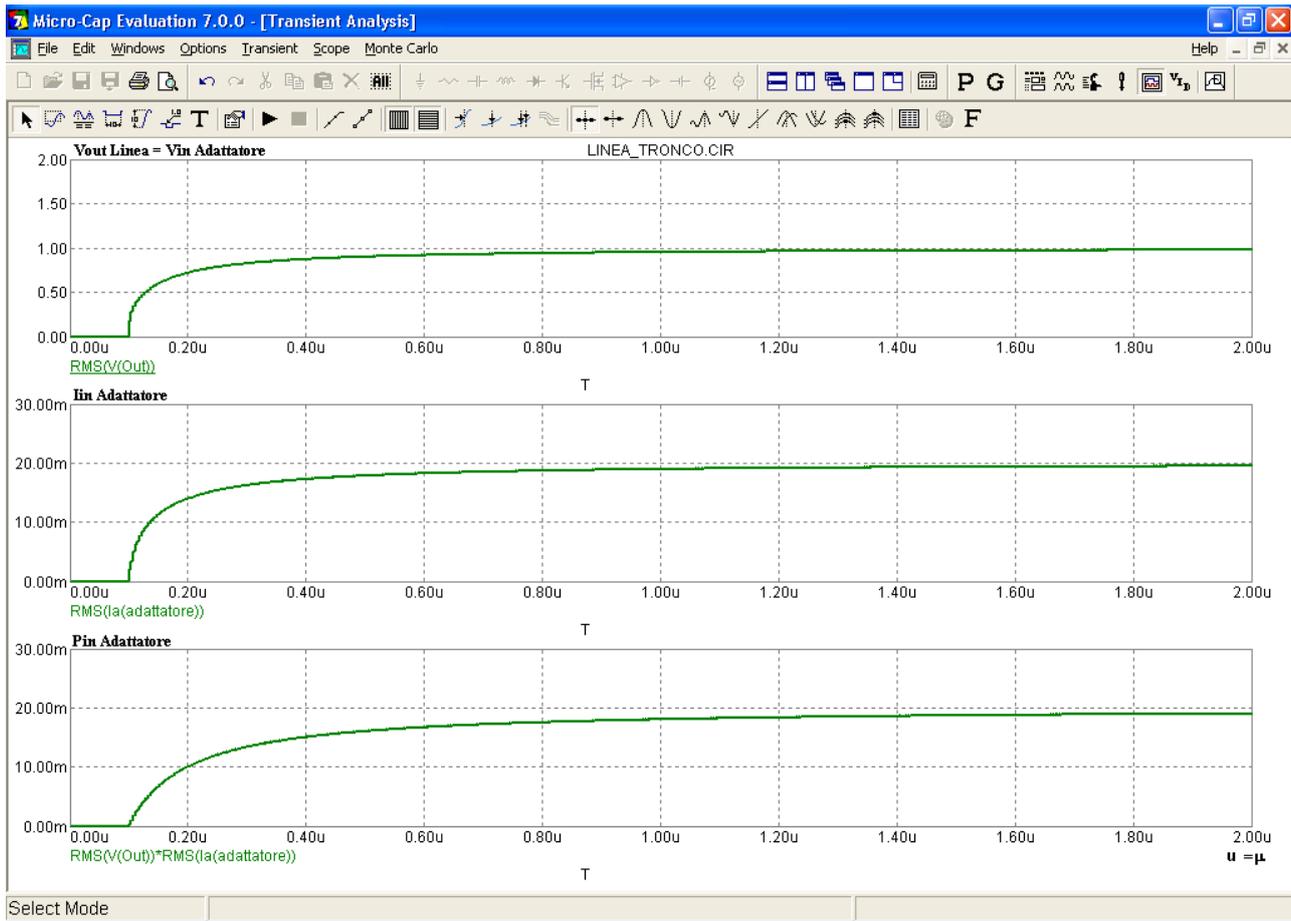


Fig. 19 Tensione, corrente, potenza in ingresso all'adattatore.

d) Con l'analisi AC si può visualizzare ciò che succede al variare della frequenza, cioè si effettua l'analisi nel dominio della frequenza. In Fig. 20 è riportata l'impostazione dei Limits per l'analisi AC. In Fig. 21 è riportato il risultato dell'analisi, cioè l'andamento della $Z_{in}^A = V(out)/I_a(adattatore)$ del tronco $\lambda/4$ al variare della frequenza. Da questa figura si rileva che:

1. le riflessioni compaiono solo quando la lunghezza d'onda del segnale è comparabile con la lunghezza della linea (a frequenze basse la Z_{in} è pari a $150 \text{ } [\Omega]$);
2. quando la lunghezza della linea coincide con $\lambda/4$ (cioè quando $l = \lambda/4 = (1/4)(v_p/f) = 0.25(300 \cdot 10^6 / 100 \cdot 10^6) = 0.75 \text{ [m]}$) si ritrova che $Z_{in}^A = Z_{oA}^2 / R_u = 50 \text{ } [\Omega]$; aumentando la frequenza e quindi diminuendo λ , ogni volta che la lunghezza della linea risulta pari a $l = (\lambda/4 + n\lambda/2)$ si ritrova questo valore;
3. quando la lunghezza della linea coincide con $\lambda/2$ la Z_{in}^A assume lo stesso valore del carico, pari a $R_u = 150 \text{ } [\Omega]$; aumentando la frequenza, e quindi diminuendo λ , ogni volta che la lunghezza della linea risulta pari a $l = n\lambda/2$ si ritrova questo valore;

In conclusione diminuendo di $\lambda/4$ la lunghezza d'onda (cioè aumentando la frequenza di 100 MHz) si ritrova $Z_{in}^A = 50 \text{ } [\Omega]$, mentre diminuendo di $\lambda/2$ la lunghezza d'onda (si aumenta di 200 MHz la frequenza) l'impedenza di ingresso del tronco di linea riassume lo stesso valore del carico, $Z_{in}^A = 150 \text{ } [\Omega]$. Si ritrova così il concetto che al variare della frequenza cambia il comportamento della linea.

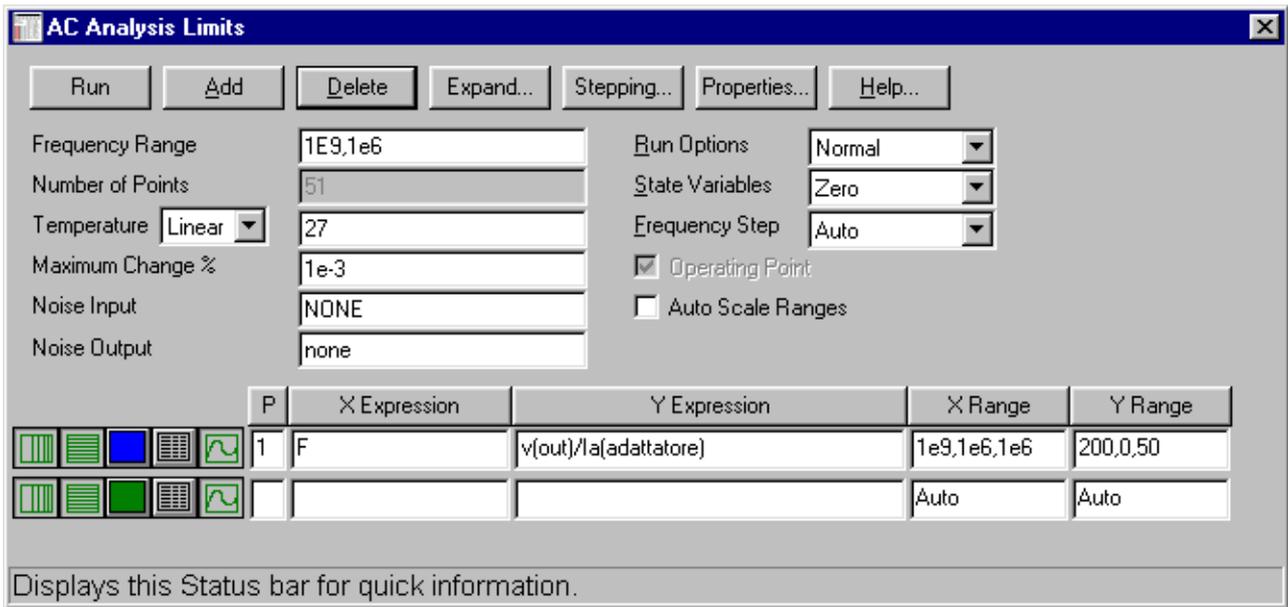


Fig. 20 Impostazione dei Limits per l'analisi AC

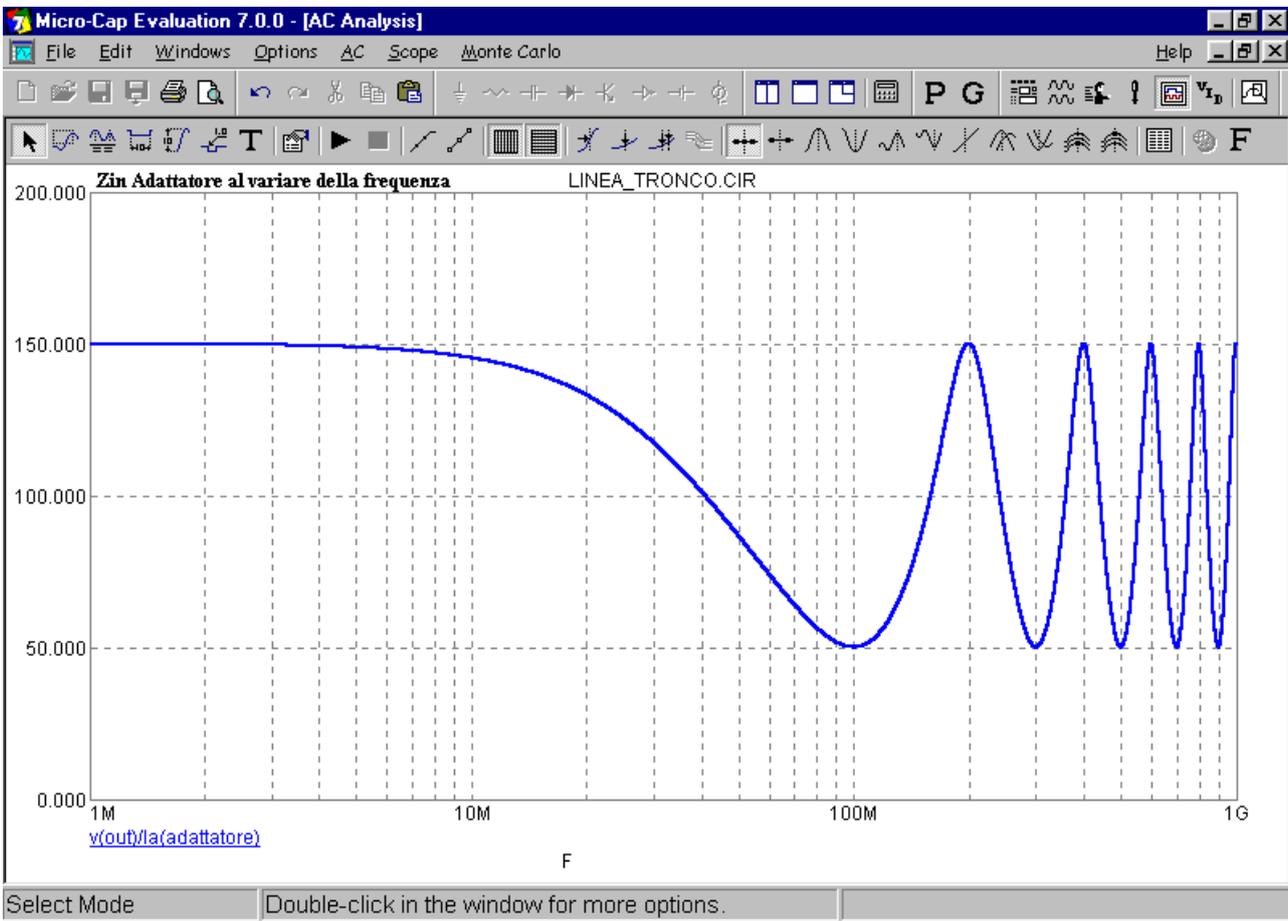
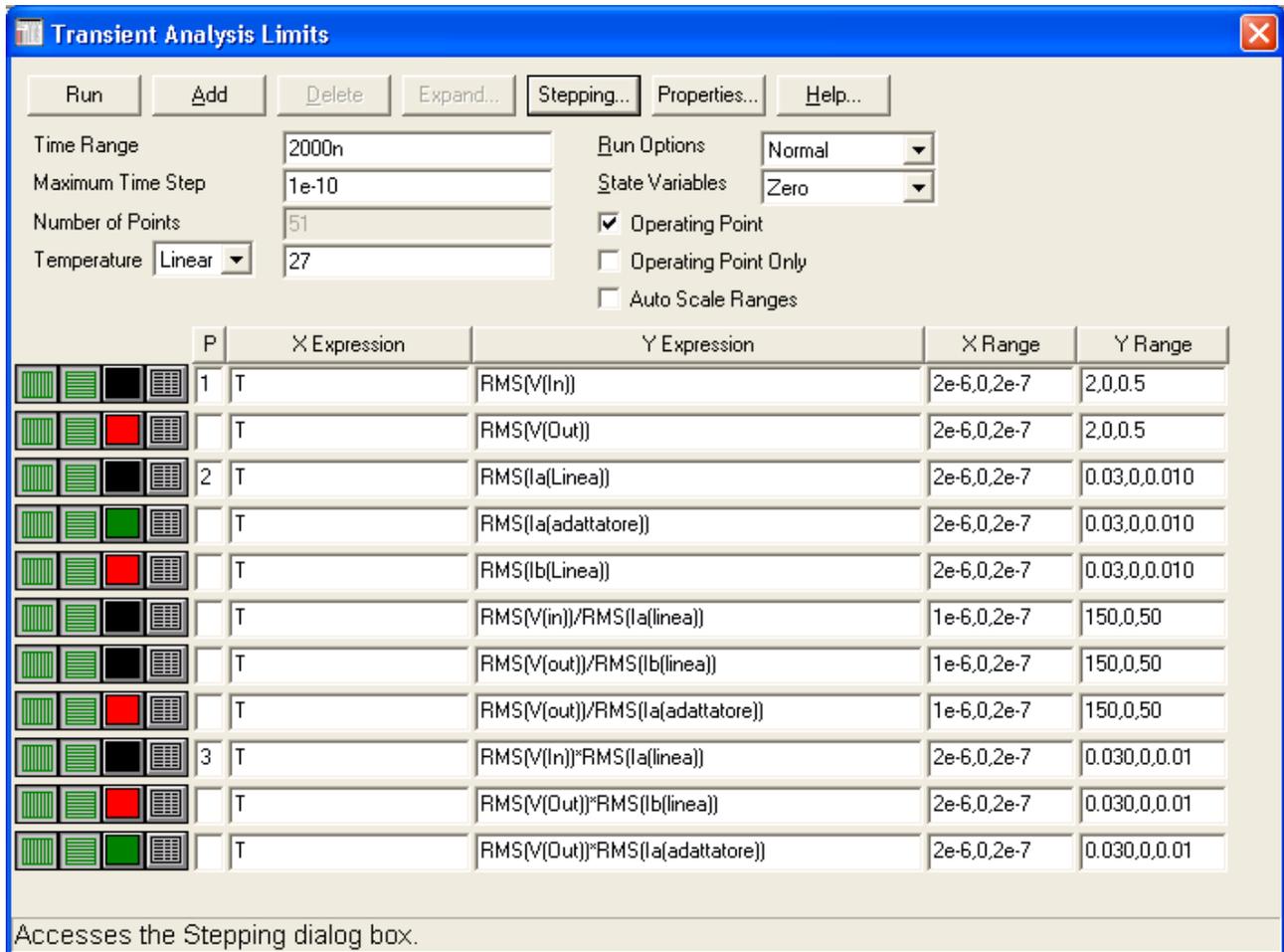


Fig. 21 Risultato dell'analisi AC (analisi nel dominio della frequenza).

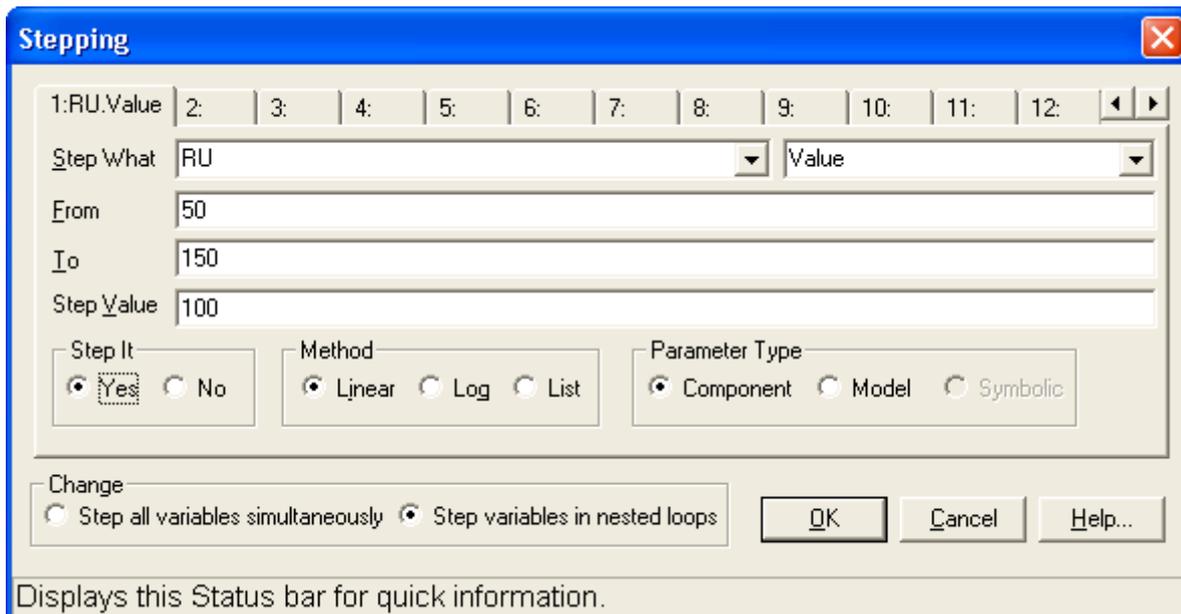
Stepping

Microcap 7.0 permette di effettuare le analisi facendo variare un parametro del circuito disegnato, abilitando l'opzione *stepping* nei Limits delle analisi, fig. 22. Ciò consente di vedere cosa succede al variare del valore di Ru, oppure la variare dell'impedenza caratteristica della linea, Zo, ecc, come mostrato nelle figg. 23 e 24.



P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	RMS(V(In))	2e-6,0,2e-7	2,0,0.5
	T	RMS(V(Out))	2e-6,0,2e-7	2,0,0.5
2	T	RMS(Ia(Linea))	2e-6,0,2e-7	0.03,0,0.010
	T	RMS(Ia(adattatore))	2e-6,0,2e-7	0.03,0,0.010
	T	RMS(Ib(Linea))	2e-6,0,2e-7	0.03,0,0.010
	T	RMS(V(in))/RMS(Ia(linea))	1e-6,0,2e-7	150,0,50
	T	RMS(V(out))/RMS(Ib(linea))	1e-6,0,2e-7	150,0,50
	T	RMS(V(out))/RMS(Ia(adattatore))	1e-6,0,2e-7	150,0,50
3	T	RMS(V(In))*RMS(Ia(linea))	2e-6,0,2e-7	0.030,0,0.01
	T	RMS(V(Out))*RMS(Ib(linea))	2e-6,0,2e-7	0.030,0,0.01
	T	RMS(V(Out))*RMS(Ia(adattatore))	2e-6,0,2e-7	0.030,0,0.01

Accesses the Stepping dialog box.



1:RU.Value 2: 3: 4: 5: 6: 7: 8: 9: 10: 11: 12: ◀ ▶

Step What: RU Value

From: 50

To: 150

Step Value: 100

Step It: Yes No

Method: Linear Log List

Parameter Type: Component Model Symbolic

Change: Step all variables simultaneously Step variables in nested loops

OK Cancel Help...

Displays this Status bar for quick information.

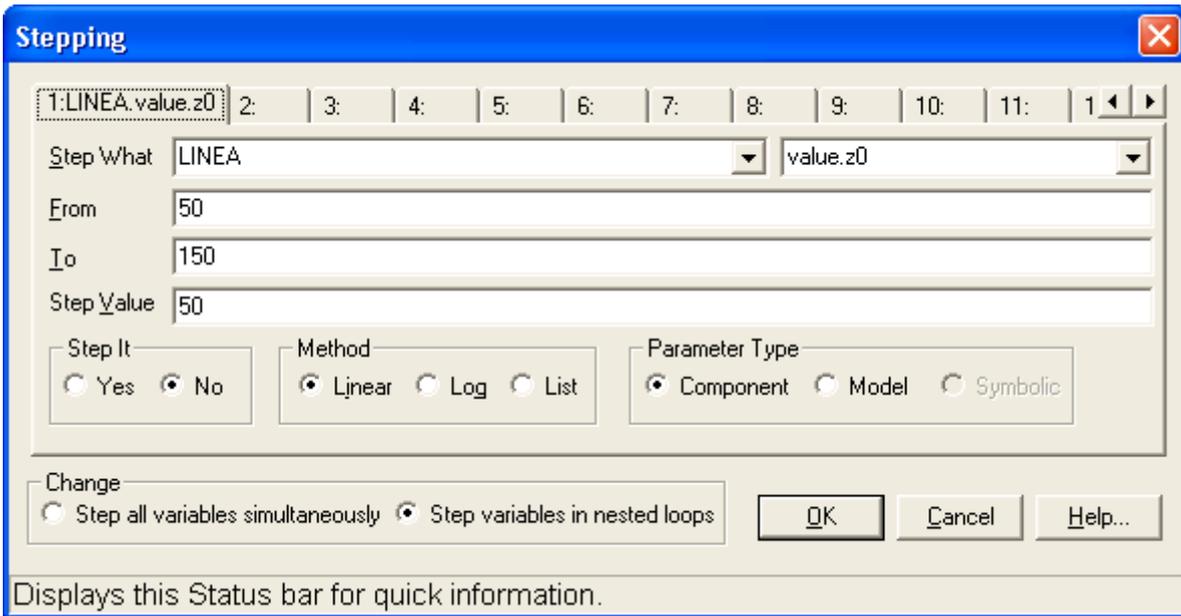


Fig. 22 Impostazione per l'opzione Stepping.

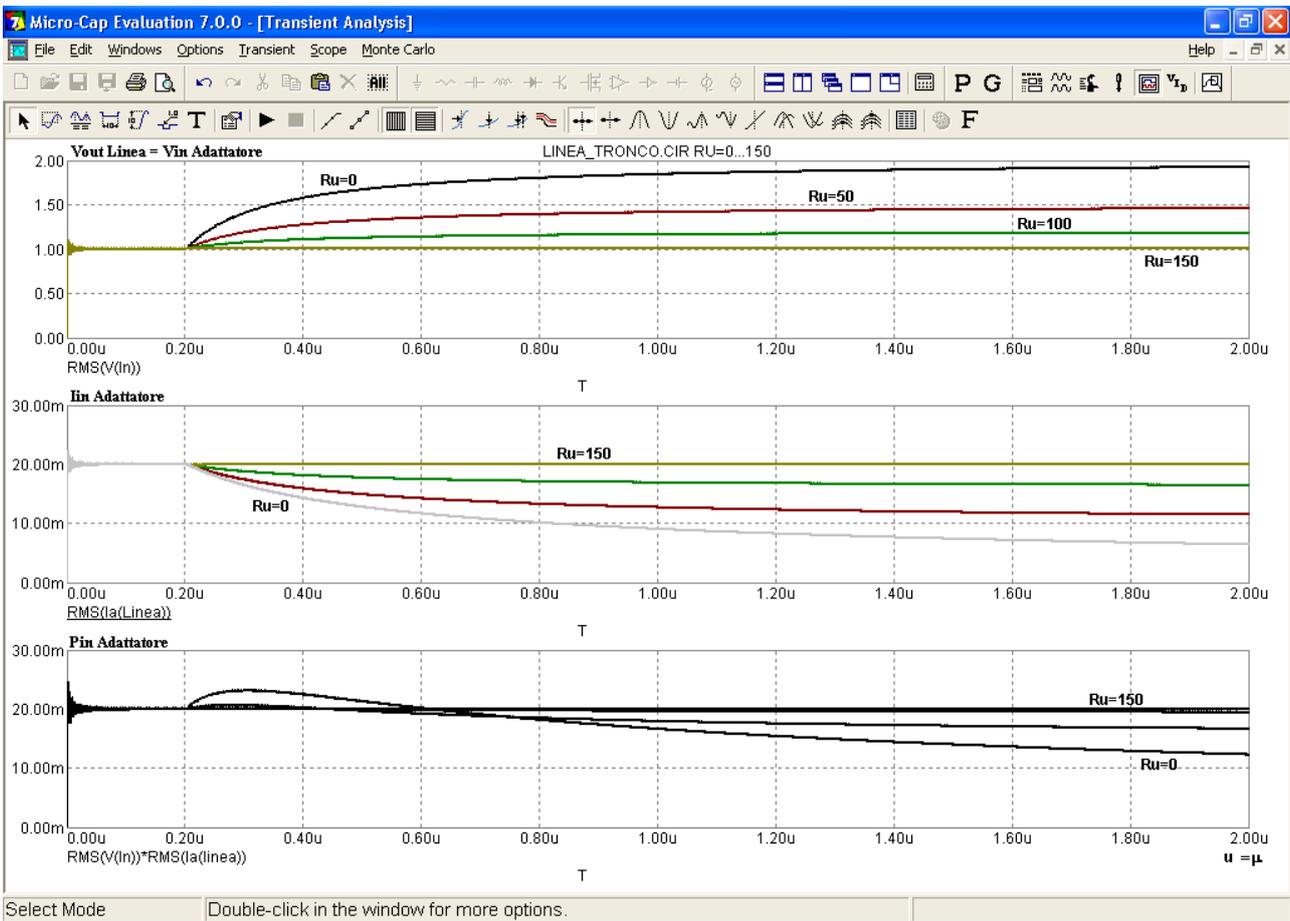


Fig. 23 Risultato al variare di Ru.

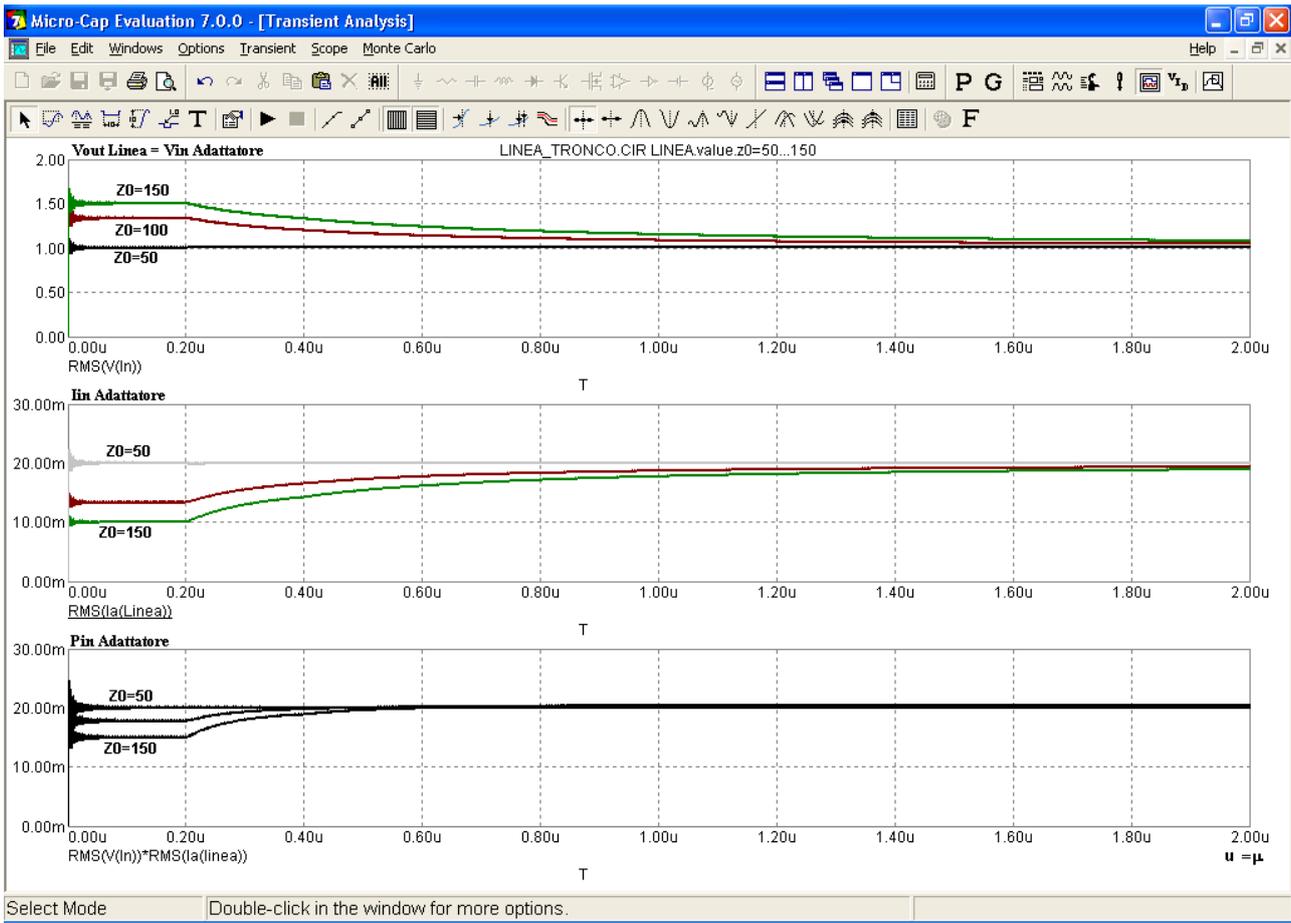


Fig. 24 Risultato al variare di Z_0 .