

Laurea in Ingegneria dell'Informazione
Corso di Fondamenti di Elettronica
(a.a. 2007-2008)

Laboratorio PSpice

Rosa Paola Venturini

Informazioni di contatto

Rosa Paola Venturini

- **email:** venturin@dei.unipd.it
- **Tel:** 049-827-7573 (Ufficio)

Account

- Per accedere alle macchine in aula Te è sufficiente un **account studenti**.
- La procedura per l'attivazione di un account studenti è descritta qui:

<http://www.dei.unipd.it/wdyn/?IDsezione=1018>

- Chi non avesse attivato il proprio account è pregato di farlo quanto prima

Calendario delle esercitazioni

Ogni mercoledì, 12.30-14.30 in aula Te:

17/4: Introduzione a SPICE → Per tutti

23/4: Simulazione di reti RLC

30/4: Amplificatori Operazionali

7/5: Applicazioni degli OpAmp

14/5: Dispositivi elettronici:
diodi, MOSFET, BJT

21/5: Amplificatori a singolo transistor

28/5: Prova finale di simulazione

Solo per coloro che
scelgono questa
modalità d'esame

Laboratorio PSpice

Ogni esercitazione consiste di:

- **Prima parte introduttiva**

Descrizione del problema

Analisi e calcoli di progetto

- **Seconda parte di simulazione**

Verifica del comportamento del circuito

Confronto con l'analisi manuale

Ulteriori osservazioni e commenti

} + stesura di una
breve relazione
(**homework**) da
consegnare la
settimana successiva

Turni liberi in aula Te

Tutti i giovedì dal

24 Aprile al 22 Maggio:

12.30 - 14.30

Software

- Per le esercitazioni utilizzeremo **OrCAD PSpice 15.7**, scaricabile in versione freeware (demo) da:

<http://www.cadence.com/downloads/orcad/files/ORCAD157Demo.zip>

- Una versione precedente, **OrCAD 9.2 Lite Edition**, è scaricabile da:

http://www.csee.ogi.edu/class/ee560/PSpice/Orcad_lite_9_2.zip

Modalità dell'esame PSpice

- **Frequenza:** lo studente è tenuto a frequentare tutte le esercitazioni.
- **Homework:** brevi relazioni sulle simulazioni svolte a lezione. Verranno assegnati **tre homework** a partire dalla terza lezione e andranno consegnati la volta successiva. Lo svolgimento e la consegna puntuale degli homework sono obbligatori.
- **Prova finale di simulazione:** durata due ore, obbligatoria.
NOTA BENE: Non sarà ripetuta nelle sessioni successive!

Laboratorio PSpice

Argomenti della lezione:

- Che cos'è SPICE
- Un po' di storia
- Analisi SPICE fondamentali - Esempi
- Concetti di base della simulazione SPICE
- Esempi di simulazione

Che cos'è SPICE

SPICE: Simulation Program with
Integrated Circuit Emphasis

è un programma di simulazione circuitale analogica.

Consente di svolgere analisi DC, analisi AC e analisi in
transitorio su circuiti elettronici contenenti, in generale:

- Resistori, Condensatori, Induttori, Mutui Induttori
- Generatori indipendenti di tensione e corrente
- Generatori pilotati
- Linee di trasmissione
- Dispositivi a semiconduttore quali Diodi, BJT, JFET, MOSFET, etc...

Un po' di storia

- **SPICE** è stato originariamente sviluppato presso l'**Università della California a Berkeley**.
- Lavora in ambiente **UNIX** e in modalità **rigorosamente testuale**.
- E' di **pubblico dominio** e scaricabile gratuitamente da:
<http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Classes/IcBook/SPICE/>
- Spesso si parla di **Berkeley SPICE** per indicare la versione originale, "**standard**" del simulatore.
- Numerose altre versioni commerciali sono state prodotte da varie software house. Si parla spesso di simulatori "**SPICE-like**".

Un po' di storia

Cronistoria del Berkeley SPICE:

- **SPICE1** (maggio 1972) rappresenta la prima release del simulatore
- **SPICE2** (1975): seconda versione, scritta in Fortran
- **SPICE3** (marzo 1985): riscritto in linguaggio C, introduce il primo modello **BSIM** per i transistor MOSFET; mantiene pressochè inalterati gli algoritmi numerici del motore di simulazione originario

Un po' di storia

Alcuni "Non-Berkeley" SPICE:

- **HSPICE**, originariamente prodotto dalla Meta-Software, poi da Avant! e ora da **Synopsys**. Robusto, consente il design di **circuiti integrati** single-chip o multi-chip, dispone di interfacce grafiche e di una vasta gamma di modelli di dispositivi.
- **PSpice**, prodotto da Microsim, ora **OrCAD-Cadence**, è stata la prima versione di SPICE destinata a girare su **piattaforme PC**. Dispone di interfacce grafiche e presenta funzionalità aggiuntive rispetto allo SPICE standard.
- **SPECTRE**, distribuito da **Cadence**, è una versione migliorata del Berkeley SPICE nella quale sono stati risolti alcuni problemi di convergenza numerica. Supporta inoltre la simulazione di **circuiti RF**.

Principali Analisi SPICE

- **Analisi DC**: determina il **punto di lavoro** di un circuito, eventualmente in funzione di un altro parametro circuitale (tensione, corrente, valore di una resistenza etc...)
- **Analisi AC**: svolge un'analisi **lineare ai piccoli segnali** sul circuito in un intervallo di frequenze specificato dall'utente
- **Analisi Transitoria**: simula l'**evoluzione temporale** di tensioni e correnti nel circuito in un intervallo di tempo specificato dall'utente

Valori numerici e unità di misura

- PSpice risolve i circuiti usando esclusivamente tecniche di calcolo numerico. In nessun caso viene ottenuta una soluzione di tipo simbolico

INSERIMENTO DEI VALORI NUMERICI:

- Numero in virgola fissa o mobile (1400, 1.313, 0.005, 10E-6)
- Numero con unità di misura (Pspice non effettua controlli sulla correttezza delle unità di misura, PROBE aggiunge automaticamente le unità)
- Numero con unità di misura multiplo o sottomultiplo (f, p, n, u, m, K, MEG, G, T)

ATTENZIONE: non inserire spazi nell'espressione!

Analisi DC (DC sweep)

Analisi DC:

Calcola il punto di lavoro (operating point, OP) del circuito risolvendolo in ipotesi di regime stazionario, ovvero assumendo tensioni e correnti costanti nel tempo. Pertanto:

- I condensatori sono circuiti aperti $\Leftrightarrow i_c=0$
- Gli induttori sono cortocircuiti $\Leftrightarrow v_L=0$
- Nella rete operano solamente i generatori di tensione e corrente costanti (DC)

Output:

$\{ V, I \}$ \Leftrightarrow Tensioni e correnti DC della rete anche per una serie di valori (sweep)

DC Simulation Settings-Esempio

The image shows a software dialog box titled "Simulation Settings - simul". It has several tabs: "General", "Analysis", "Include Files", "Libraries", "Stimulus", "Options", "Data Collection", and "Probe Window". The "Analysis" tab is selected.

Analysis type: A dropdown menu is set to "DC Sweep".

Options: A list of checkboxes is shown:

- Primary Sweep
- Secondary Sweep
- Monte Carlo/Worst Case
- Parametric Sweep
- Temperature (Sweep)
- Save Bias Point
- Load Bias Point

Sweep variable: A group box containing:

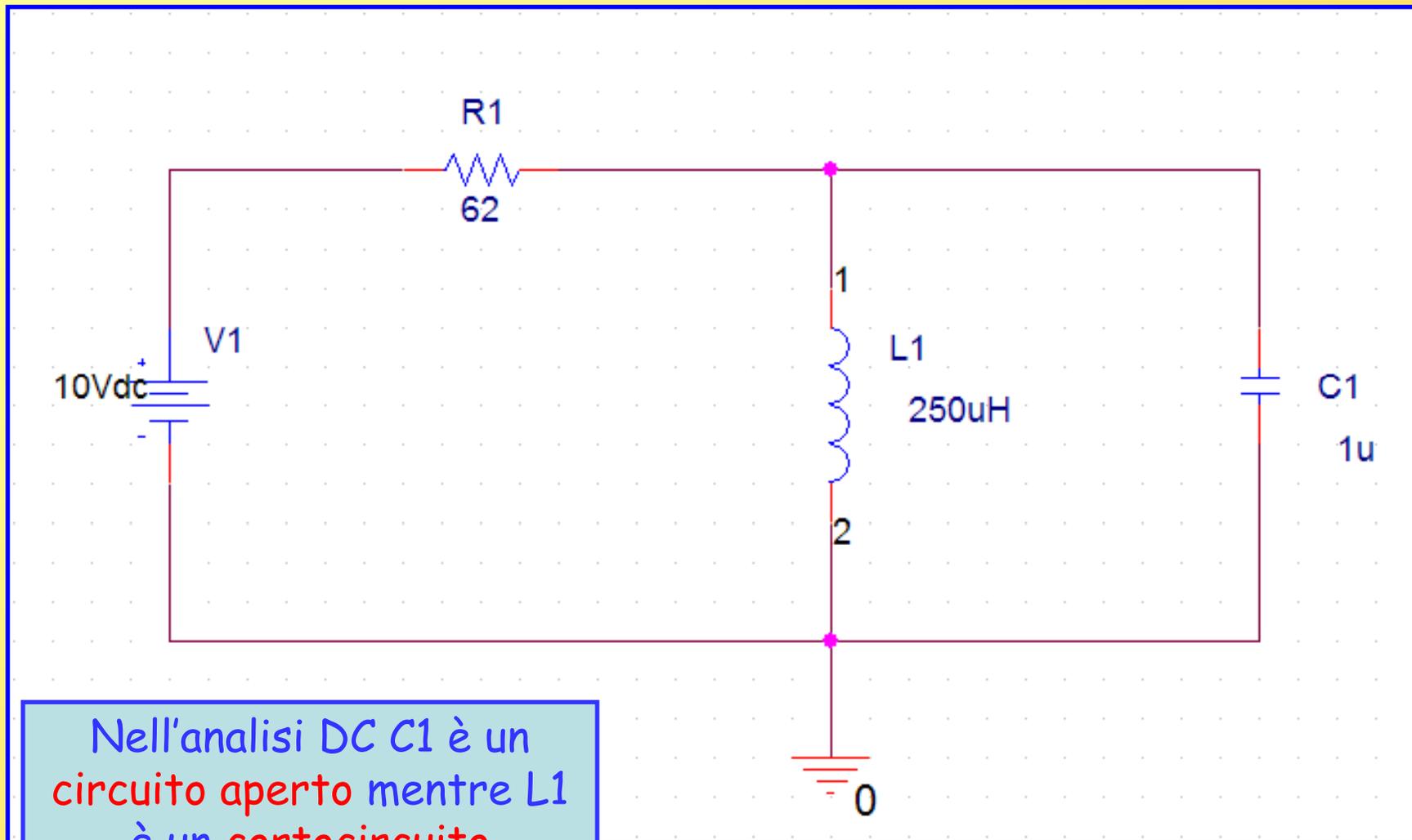
- Radio buttons for "Voltage source", "Current source", "Global parameter", "Model parameter", and "Temperature". "Voltage source" is selected.
- Fields for "Name:", "Model type:", "Model name:", and "Parameter name:".

Sweep type: A group box containing:

- Radio buttons for "Linear", "Logarithmic", and "Value list". "Linear" is selected.
- For "Logarithmic", there is a "Decade" dropdown menu.
- Fields for "Start value:", "End value:", and "Increment:".
- A text input field for "Value list".

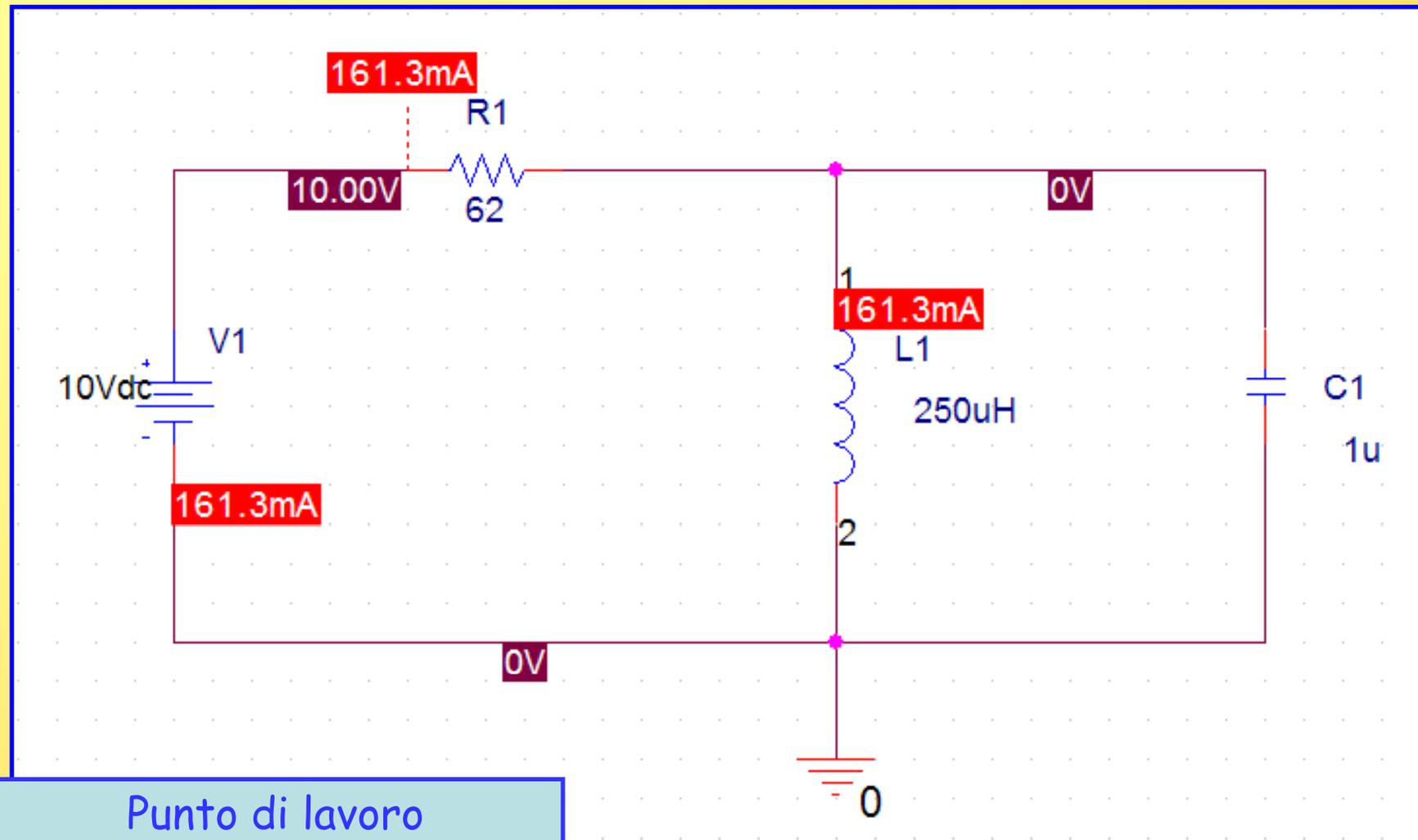
At the bottom, there are four buttons: "OK", "Annulla", "Applica", and "?".

Analisi DC



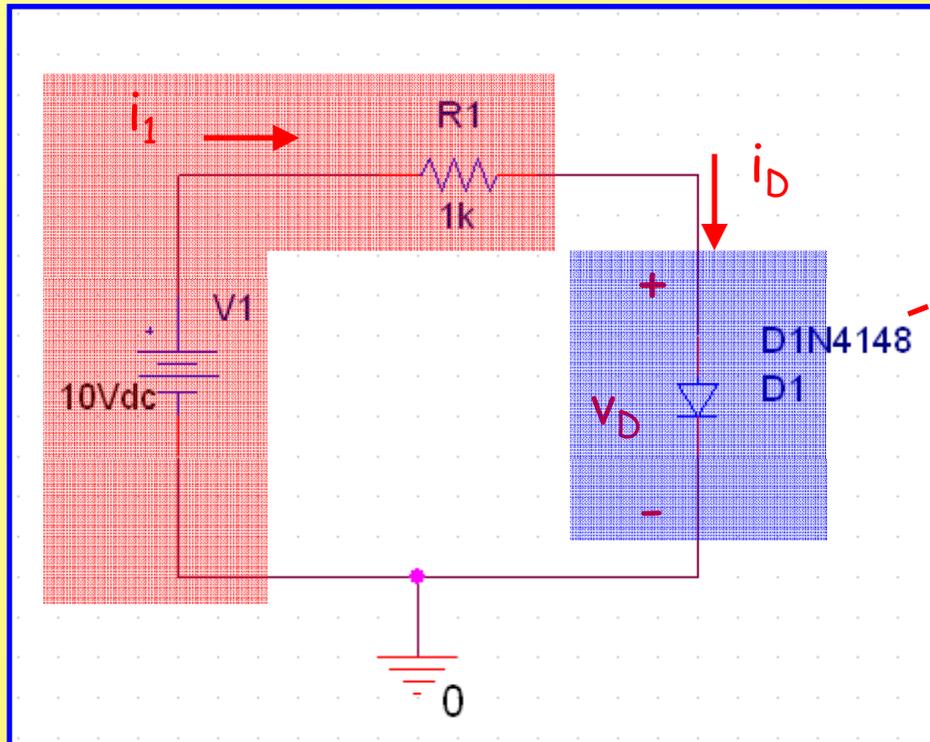
Nell'analisi DC C1 è un
circuito aperto mentre L1
è un cortocircuito

Analisi DC

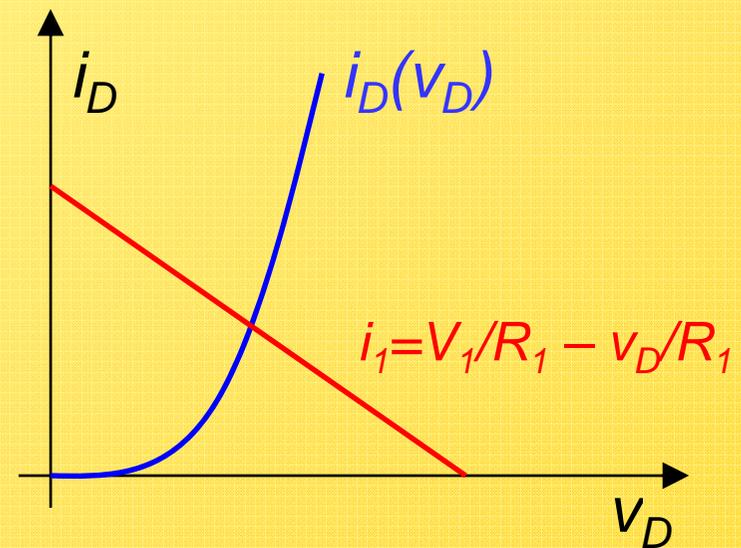


Punto di lavoro
della rete

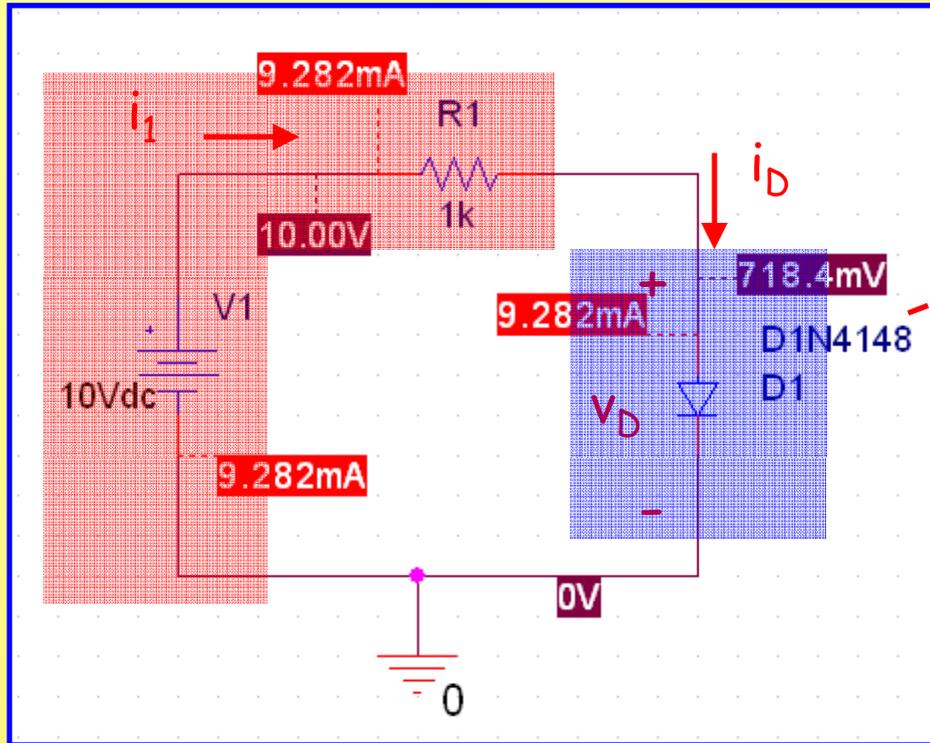
Analisi DC



Modello SPICE del
diodo commerciale
1n4148



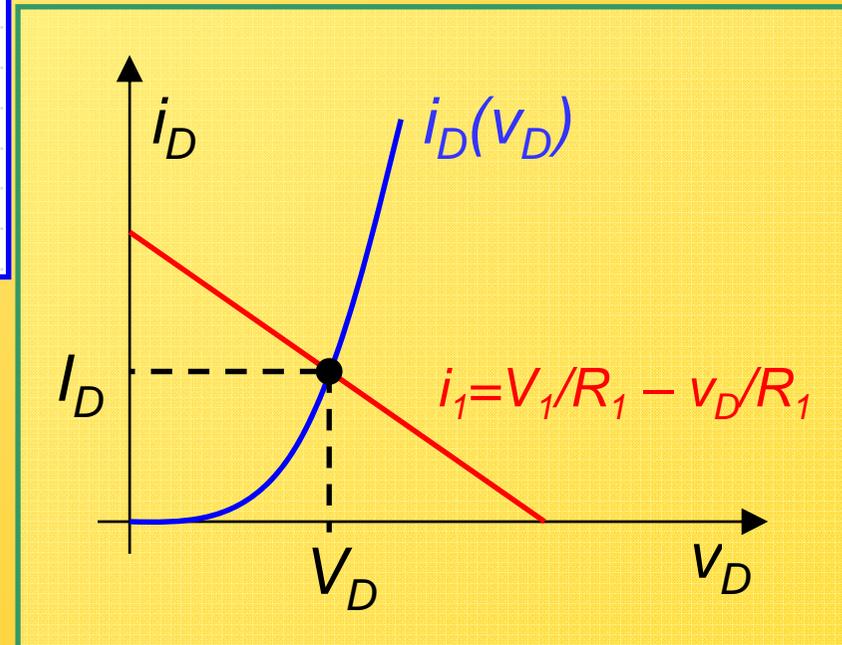
Analisi DC



Modello SPICE del
diodo commerciale
1n4148

$$V_D = 718\text{mV}$$

$$I_D = 9.28\text{mA}$$



Analisi AC

Analisi AC:

Esegue un'analisi in frequenza del circuito risolvendolo in ipotesi di regime sinusoidale:

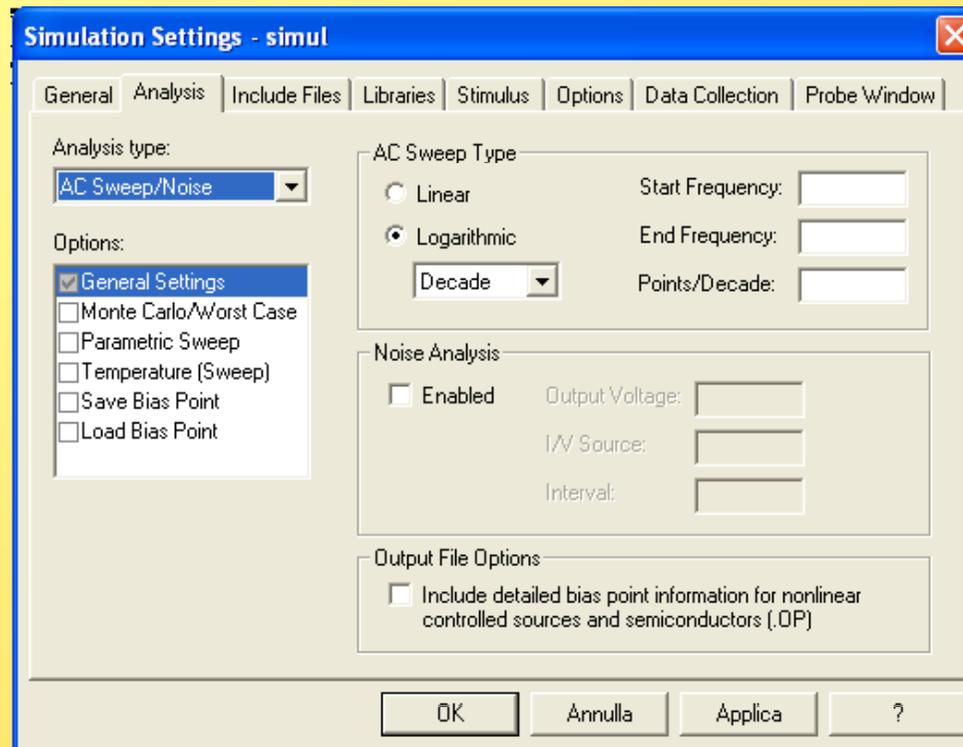
- 1) Il punto di lavoro del circuito viene calcolato mediante un'analisi DC
- 2) Il circuito viene linearizzato attorno al proprio punto di lavoro
- 3) Il circuito equivalente di piccolo segnale viene simulato in un intervallo di frequenze impostato dall'utente, in ipotesi di regime sinusoidale

Output:

$\{ v(f), i(f) \}$ \Leftrightarrow Tensioni e correnti della rete in funzione della frequenza

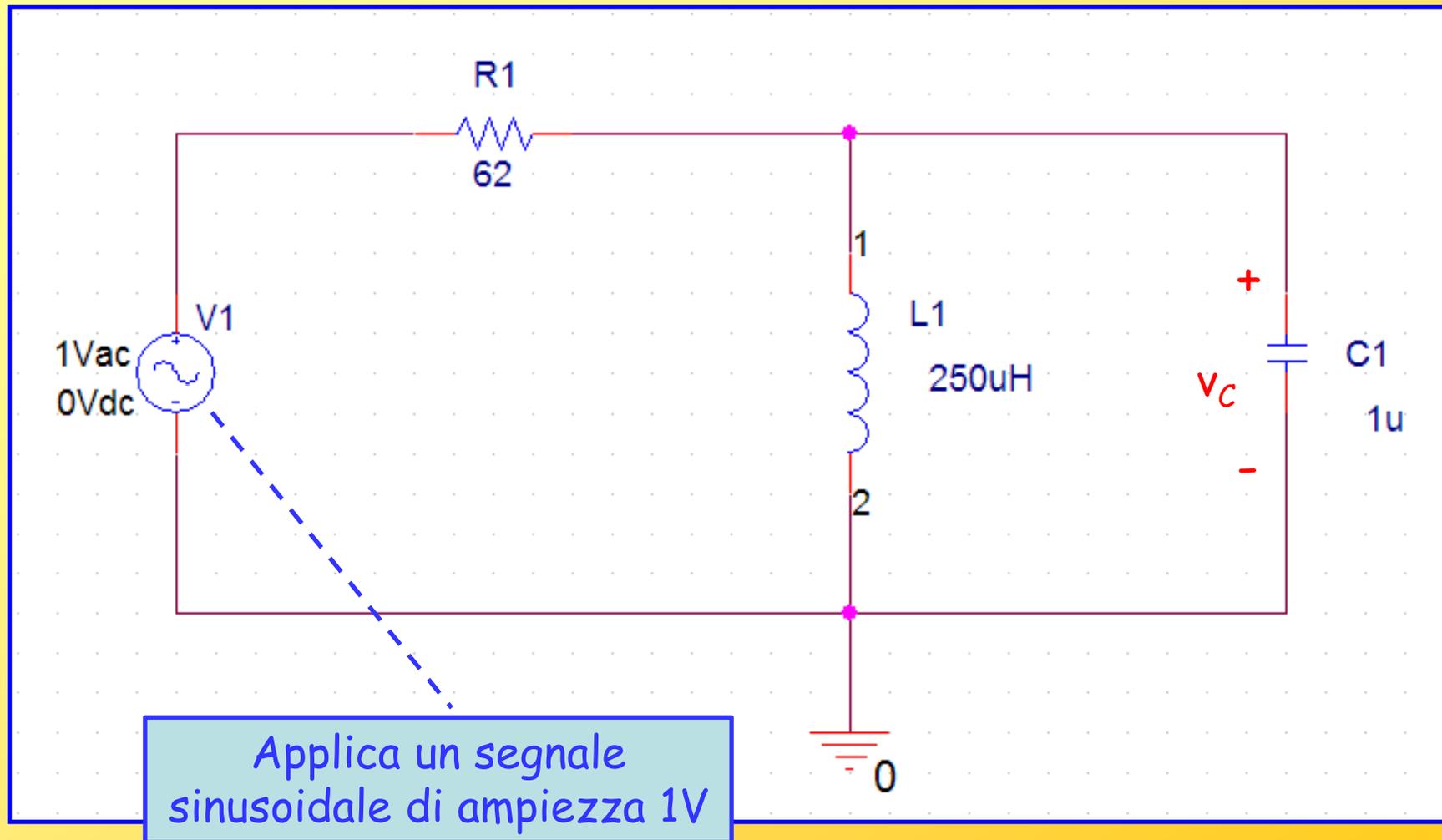
Analisi AC

Sorgenti → generatori VAC/IAC

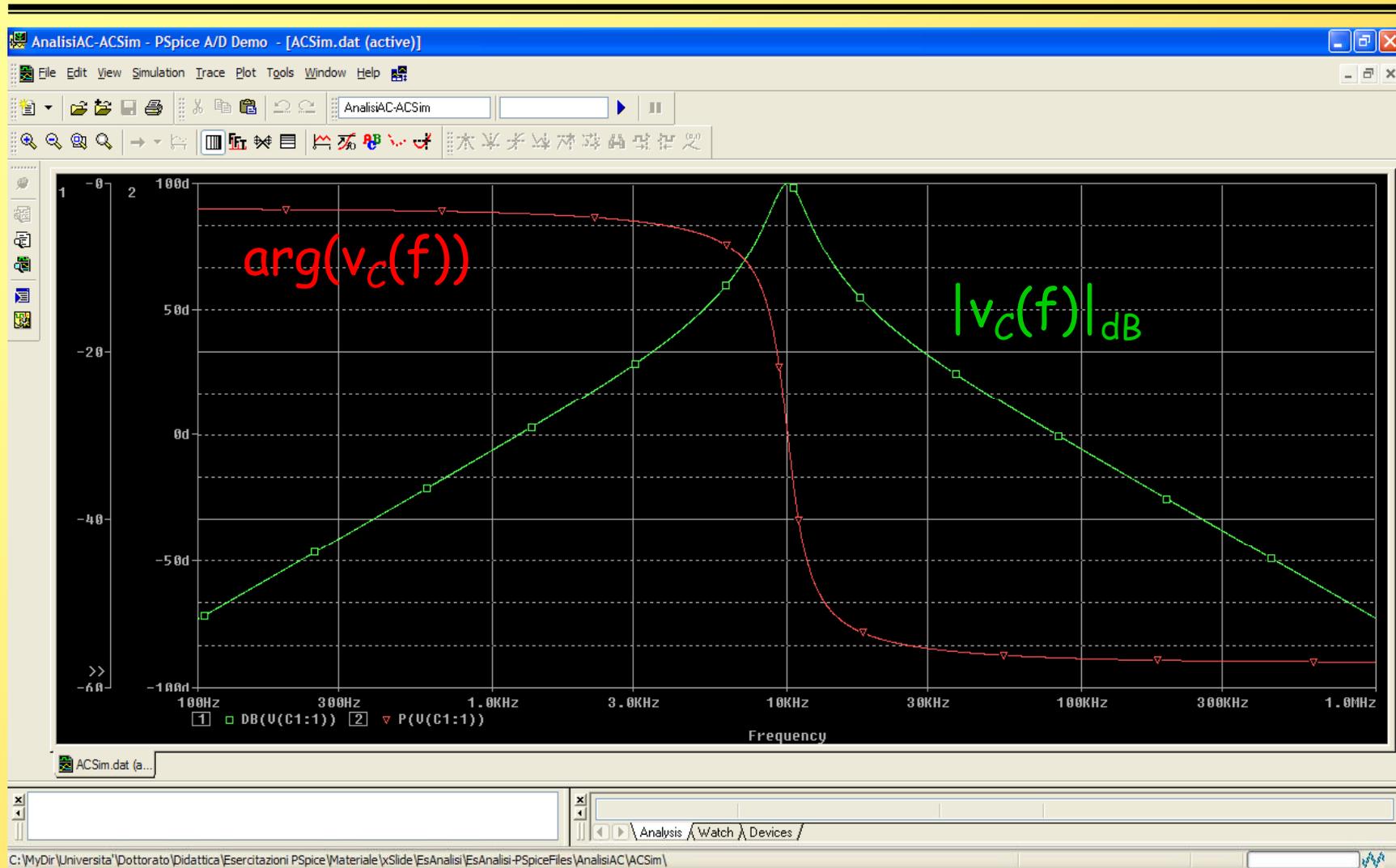


Con PROBE è possibile tracciare l'ampiezza e la fase delle tensioni e correnti sinusoidali in ogni punto del circuito

Analisi AC



Analisi AC



Analisi Transitoria

Analisi Transitoria:

Esegue un'analisi nel tempo del circuito risolvendolo in ipotesi di regime variabile:

- 1) Lo stato del circuito in $t=0$ viene determinato mediante un'analisi DC
- 2) L'evoluzione temporale di tensioni e correnti nel circuito viene simulata in un intervallo di tempo specificato dall'utente

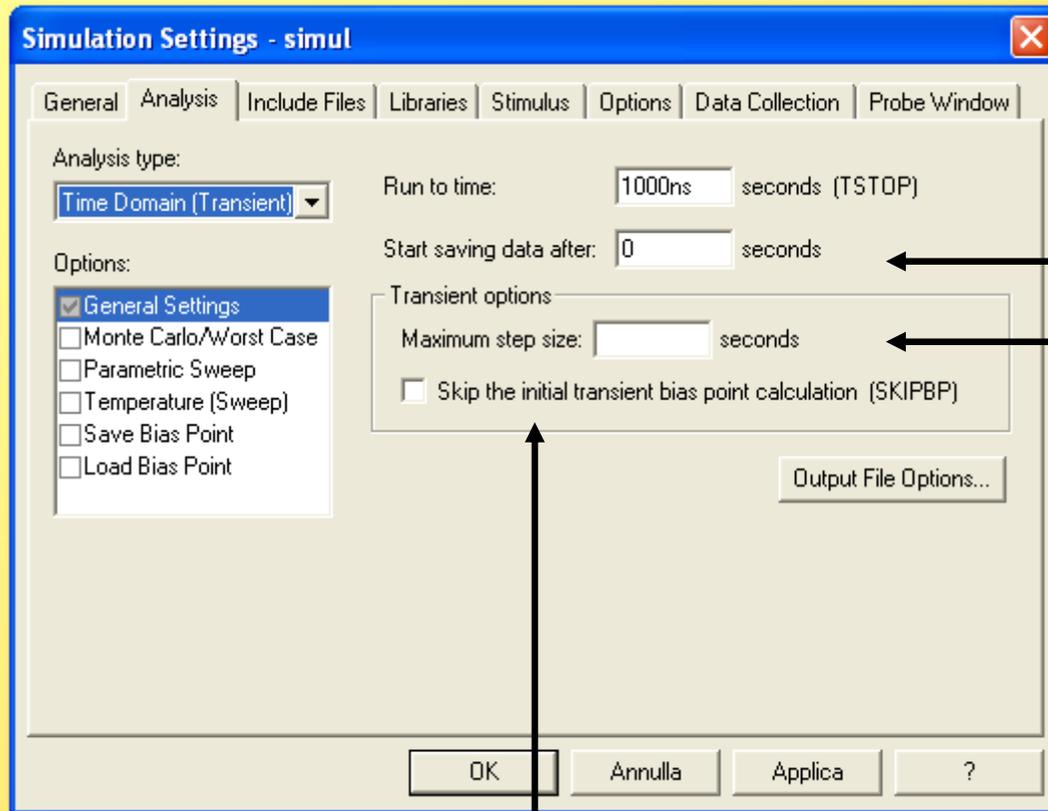
Output:

$\{ v(t), i(t) \}$



Tensioni e correnti nel circuito in funzione del tempo

Analisi Transitoria



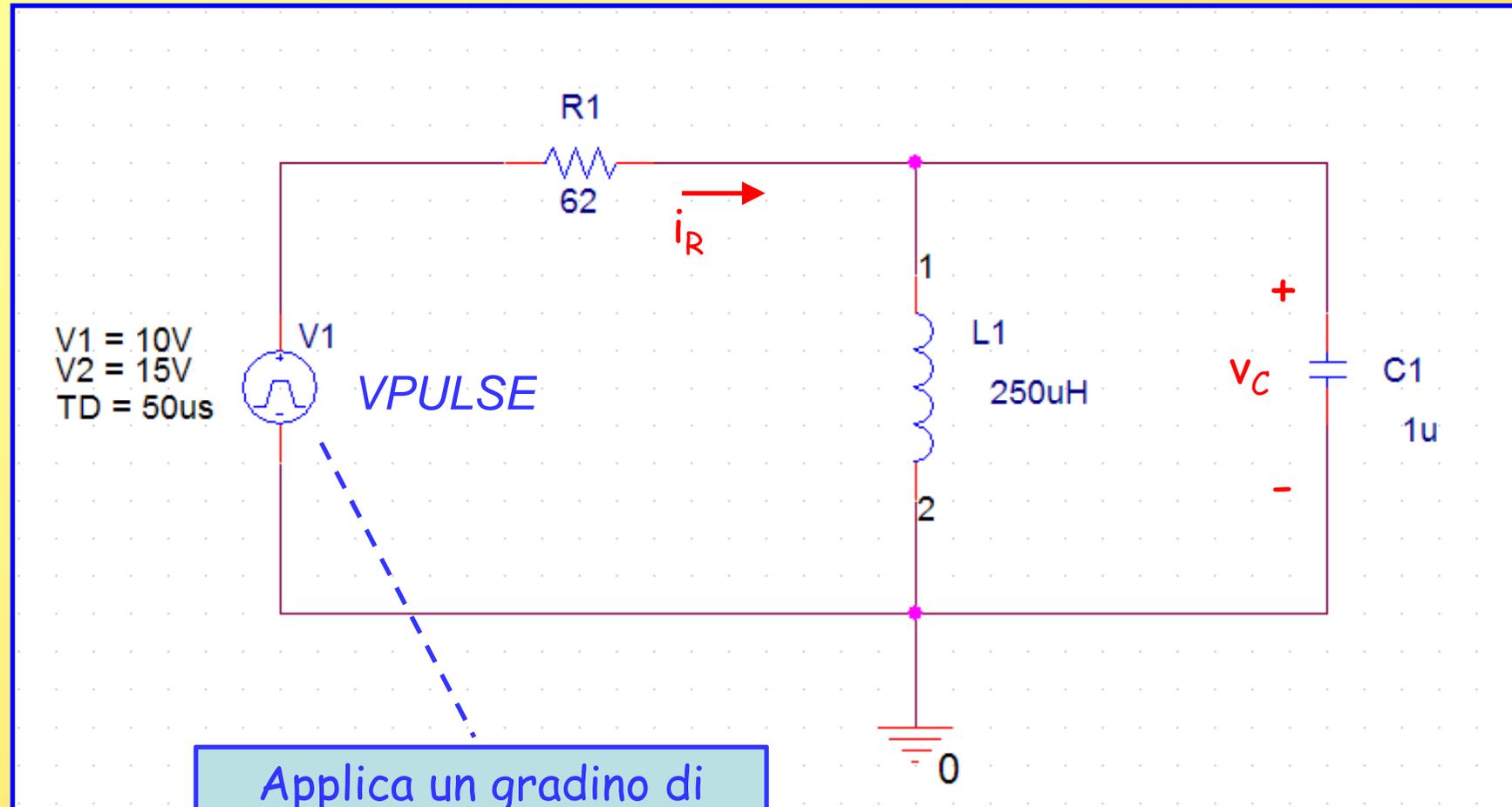
Salva solo i dati
calcolati dal tempo
specificato in poi

Massimo passo di
integrazione

Consigliato:
tra 1/1000 e 1/100
di TSTOP

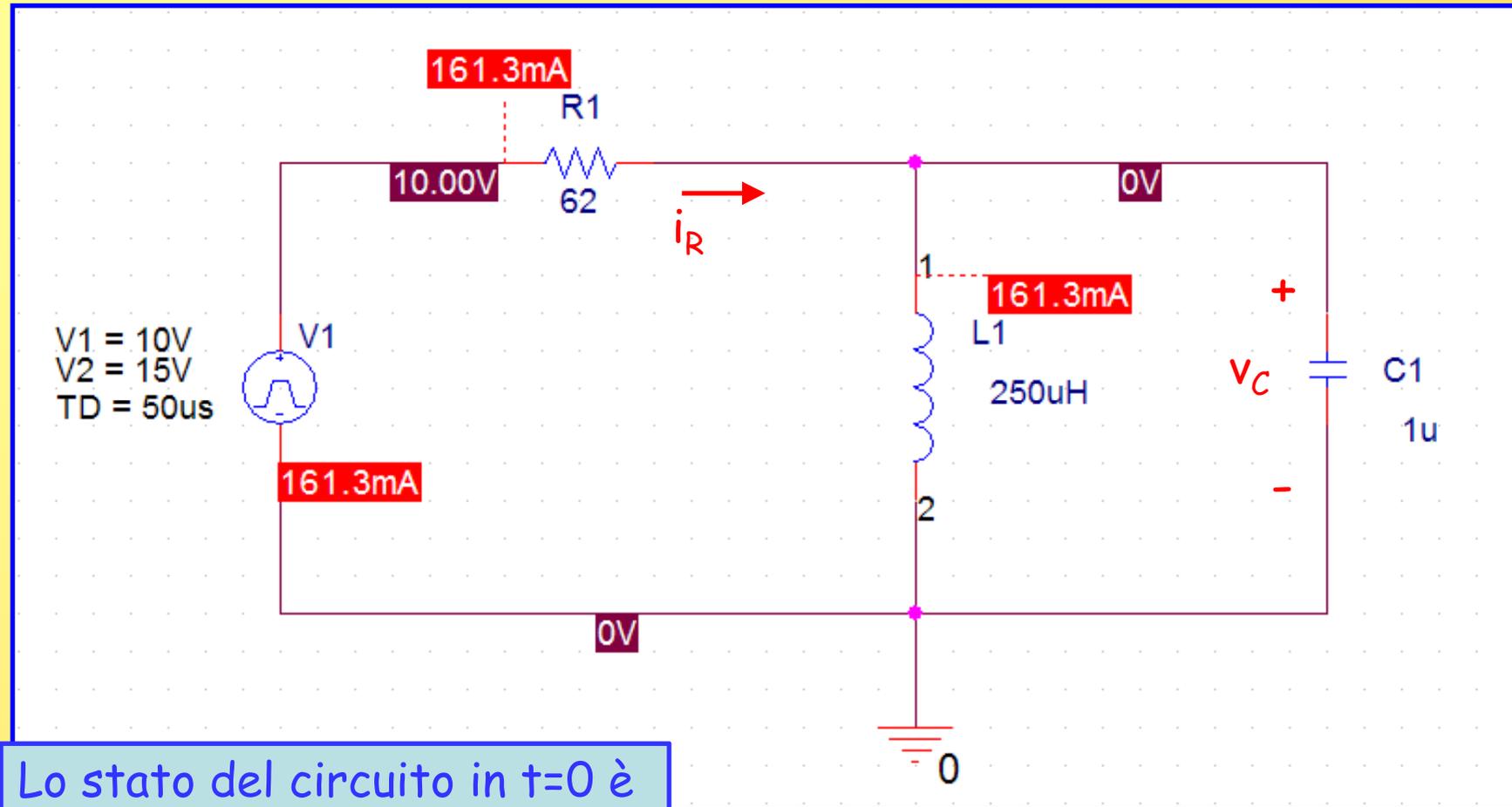
Le variabili di stato sono vincolate
a partire da valori nulli

Analisi Transitoria



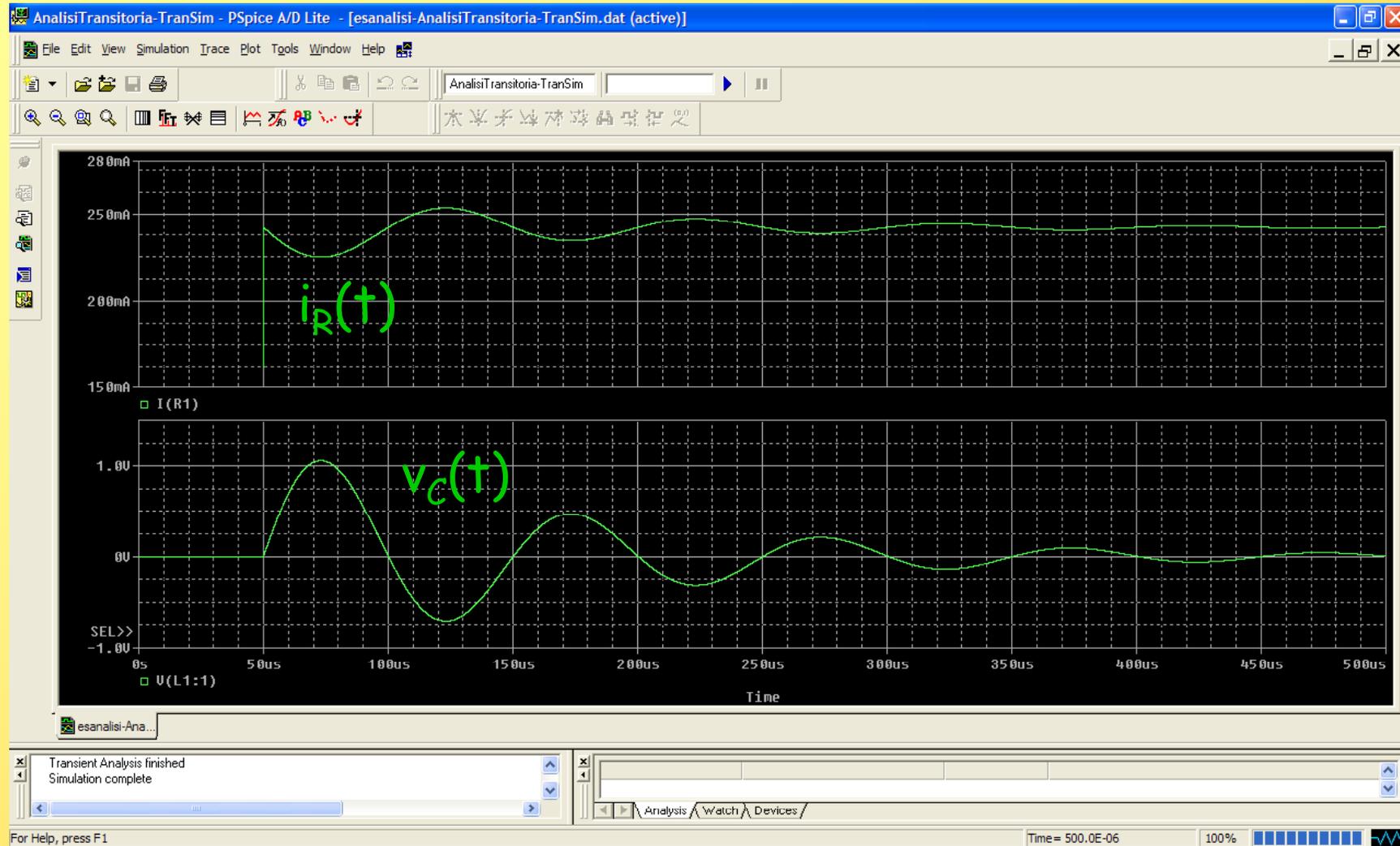
Applica un gradino di
tensione da 10V a 15V in
 $t_d = 50\mu s$

Analisi Transitoria



Lo stato del circuito in $t=0$ è determinato da un'analisi DC

Analisi Transitoria



Concetti di base



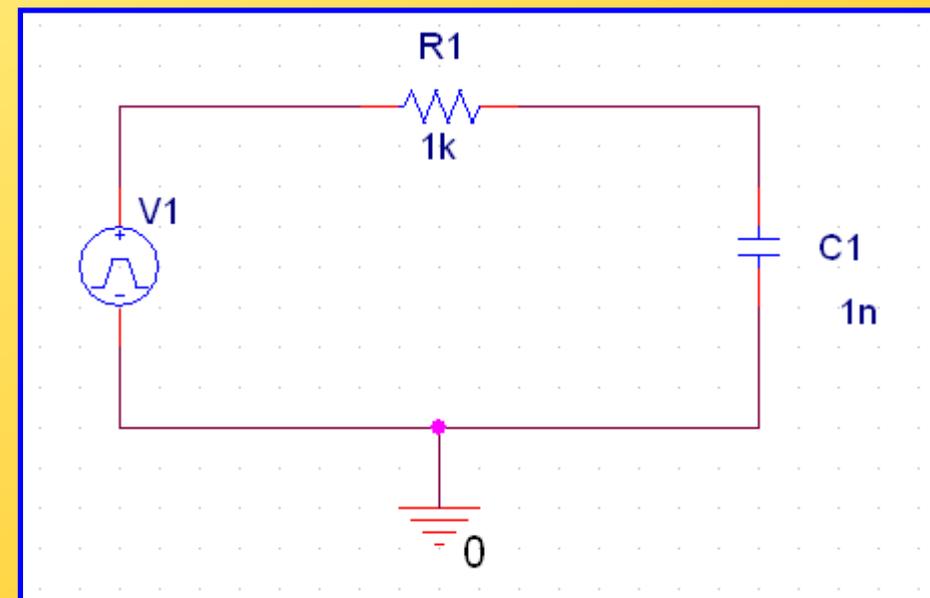
SPICE elabora un file di input testuale detto netlist.
La netlist, scritta in linguaggio SPICE:

- 1) Contiene la definizione del circuito
- 2) Definisce i parametri dei dispositivi
- 3) Specifica il tipo di analisi SPICE da effettuare
- 4) Controlla l'output dei risultati di simulazione

Concetti di base



Esempio: analisi del transitorio di carica di un circuito RC serie



Concetti di base



A Definizione del circuito re

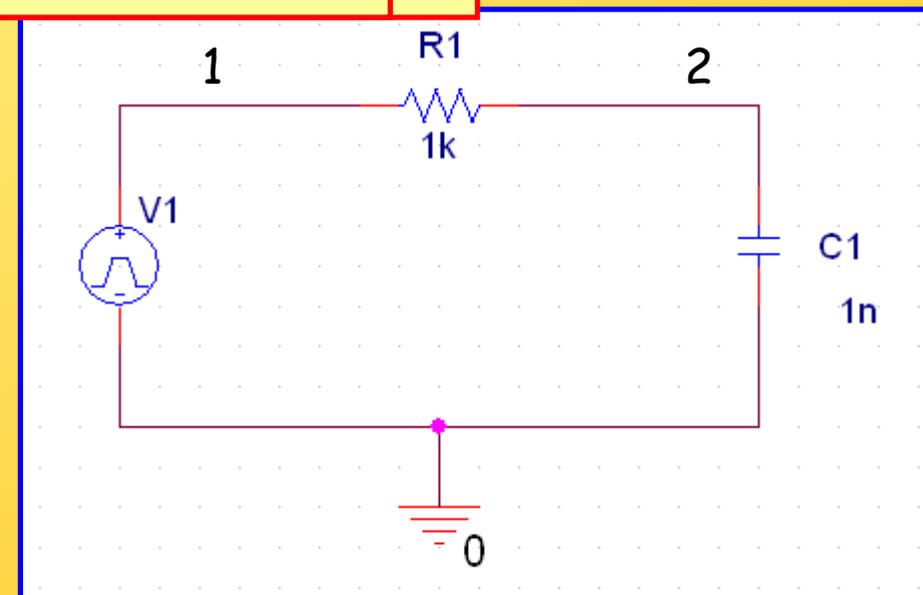
```

* Circuito RC
R1      1 2 1k
C1      2 0 1n
V1      1 0 PULSE 0V 5V 1us

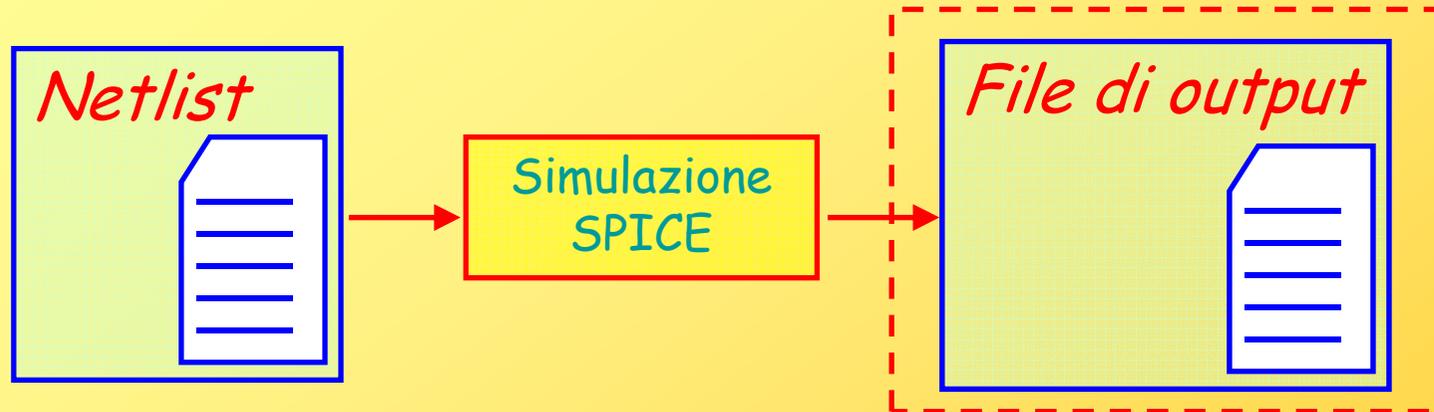
* Analisi SPICE
.TRAN   0 10us 0 0.01us

* Risultati di simulazione
.PRINT  TRAN V(1) V(2)

.END
  
```



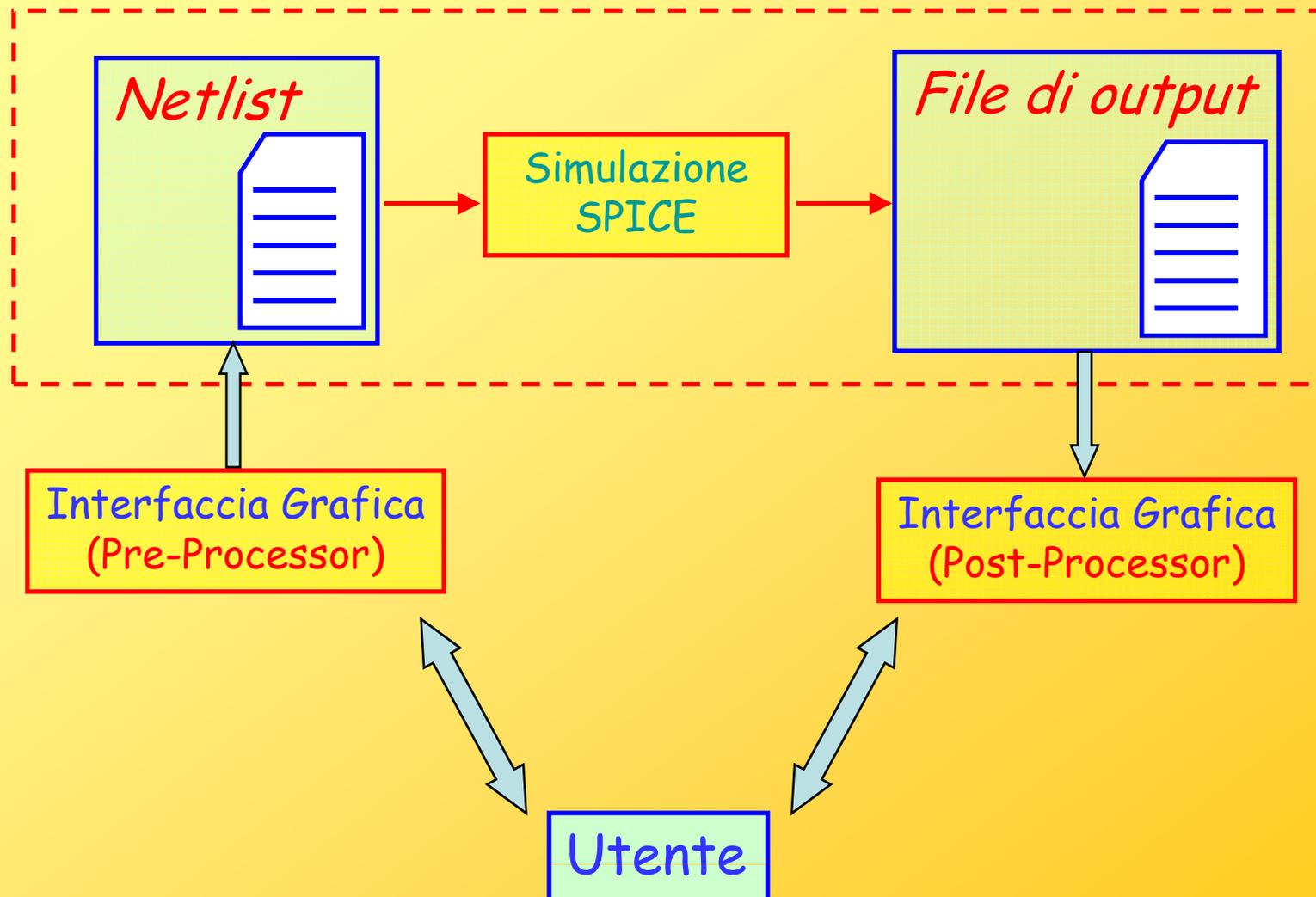
Concetti di base



```
**** TRANSIENT ANALYSIS
**** TEMPERATURE = 27.000 DEG C
*****
TIME      V(1)      V(2)
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
1.000E-08 5.000E+00 2.492E-02
2.000E-08 5.000E+00 7.438E-02
3.000E-08 5.000E+00 1.234E-01
[...]
```

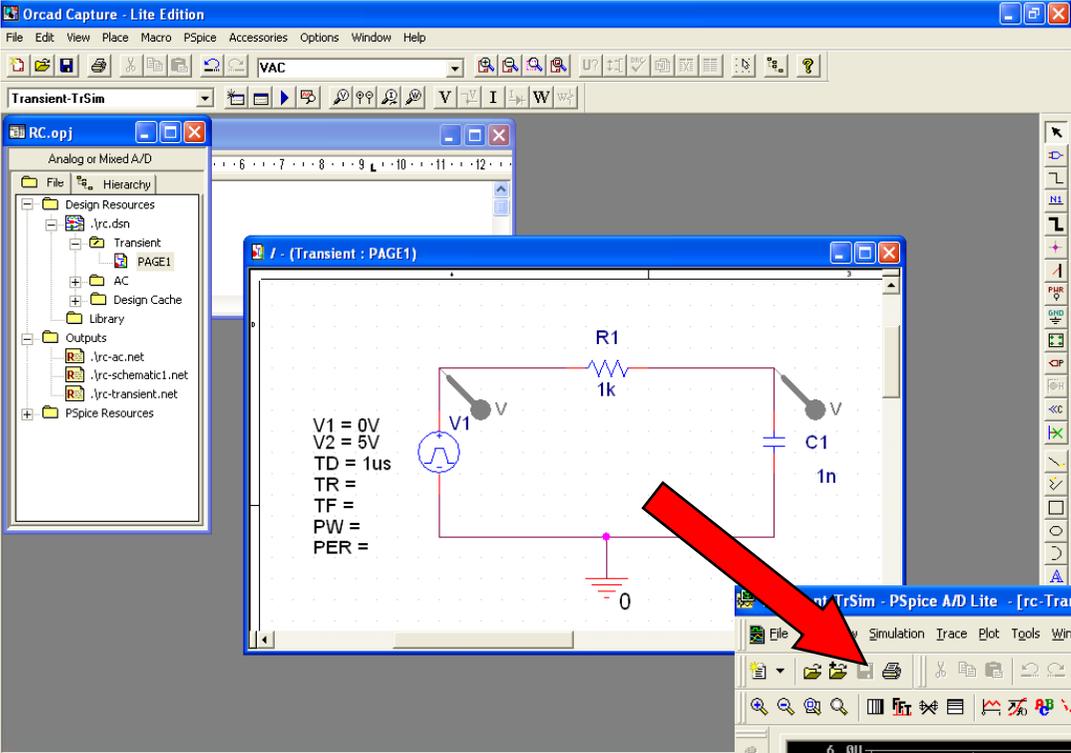
Il file di output, anch'esso in formato testuale, contiene i risultati della simulazione.

Concetti di base

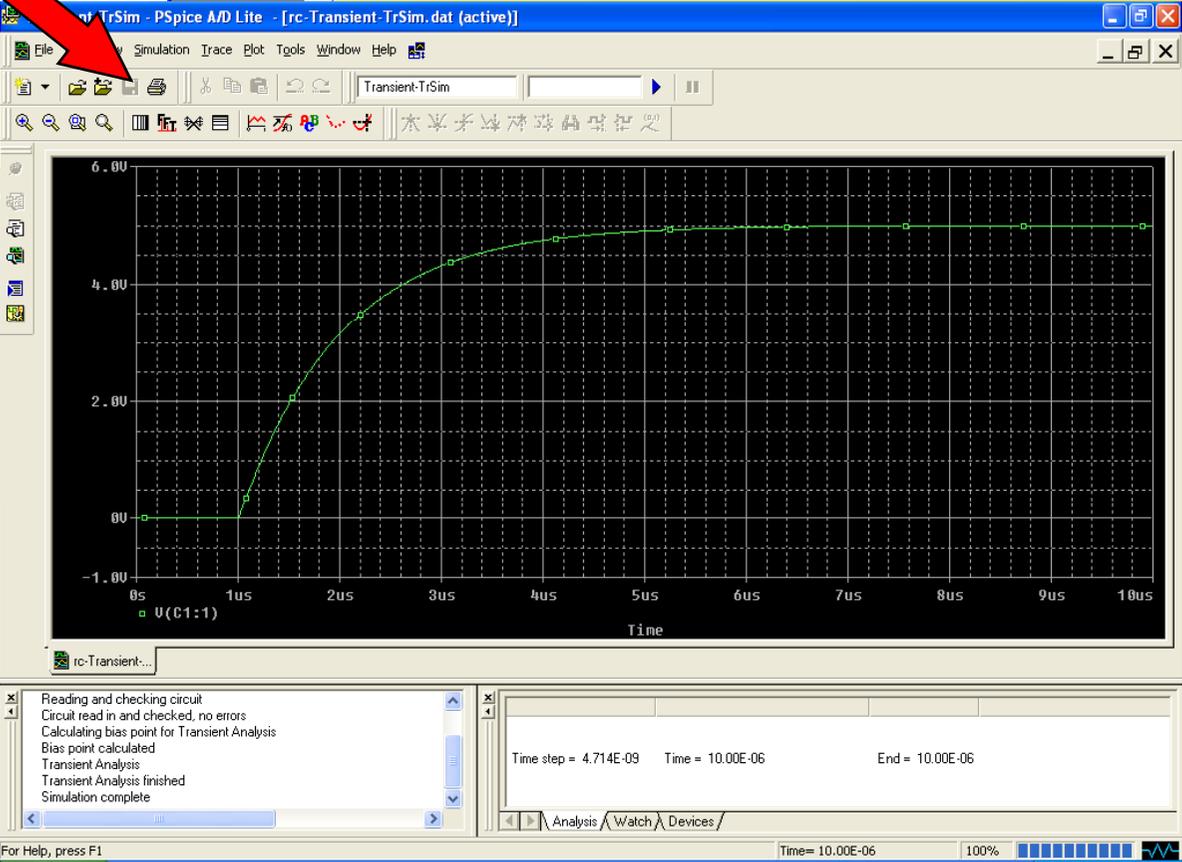


Esempio: OrCAD PSpice

Interfaccia Grafica (Capture)



Post-processor (Probe)



OrCAD PSpice

- Pacchetto software distribuito da **OrCAD - Cadence**
- Simulatore "**SPICE-like**" concepito per piattaforme PC
- Interfacce grafiche
 - **Capture** (editor)
 - **Probe** (post-processor)
- Supporta **modelli comportamentali**
- Tool per la **gestione di librerie e modelli**
- Tool per il disegno di **layout** su PCB e applicazioni **CAM**
- **Analisi principali disponibili in PSpice:**
 - DC e DC Sweep
 - AC lineare
 - Transitoria
 - Parametrica
 - Worst-case / Montecarlo
 - Fourier

Prossimi esempi di simulazione

1. Circuito RC

1. Circuito RLC Risonante

2. Rifasamento di un carico induttivo