

# Il Simulatore SPICE

piccola introduzione

# Introduzione a SPICE e cenni storici sul suo sviluppo

---

- ❑ La simulazione circuitale e' intrinsecamente legata allo sviluppo e alla progettazione dei circuiti integrati. Infatti, a differenza dei circuiti a componenti discreti per i quali e' abbastanza facile creare un prototipo saldando i componenti su un circuito stampato, i circuiti integrati sono fabbricati con tecnologie industriali complesse e non e' possibile farne una prototipazione "rapida".
- ❑ L'unica via per studiare il comportamento dei circuiti progettati e' di ricorrere ampiamente alla simulazione prima di procedere con la produzione in un continuo processo di aggiustamento delle prestazioni.
- ❑ I simulatori usati sia nella ricerca che industrialmente sono tutti derivanti da **SPICE** (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)
- ❑ SPICE e' stato sviluppato a partire dagli anni '70 a Berkley da Pederson e Nagel (uno studente!), a seguito degli iniziali sviluppi durante un corso universitario di un programma di simulazione, sviluppato da studenti (CANCER).
- ❑ Da allora molta strada e' stata fatta e molti sono i prodotti commerciali per la simulazione dei circuiti che si basano su SPICE.

# Principali Simulatori Commerciali

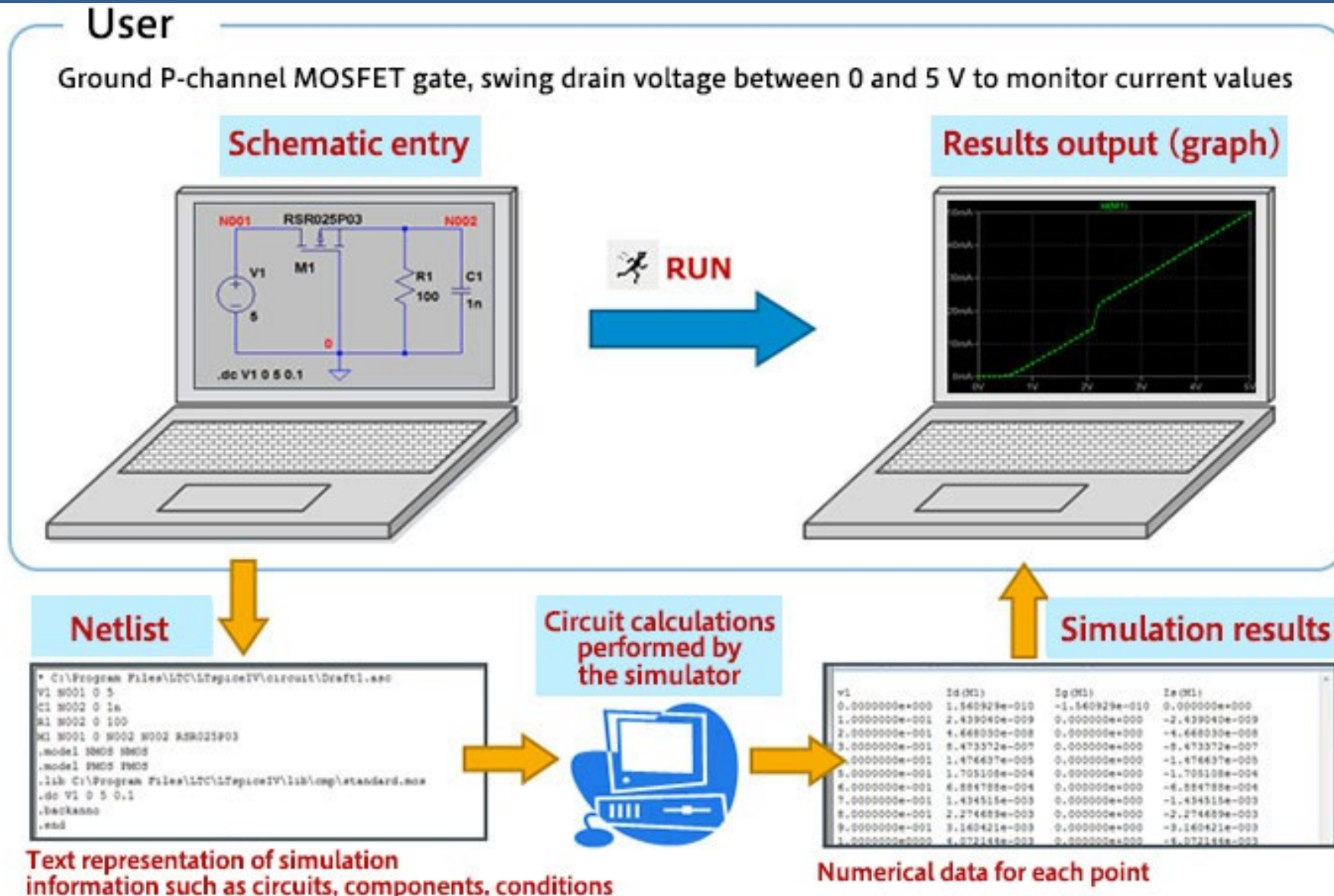
Name	Vendor	Summary
<b>OrCAD</b>	Cadence Design Systems	Direct descendant of PSpice. Free version available
<b>LTSpice</b>	Analog Devices (former LTC)	Completely free; model-compatible with PSpice
<b>SIMetrix</b>	SIMetrix Technologies	Free version available; model-compatible with PSpice
<b>Hspice</b>	Synopsys	Widely used in IC development
<b>Spectre</b>	Cadence Design Systems	Widely used in IC development
<b>ADS</b>	Keysight Technologies	Capable of board-level noise simulation
<b>Eido</b>	Mentor Graphics	IC design
<b>Altium Designer SE</b>	Altium Pty. Ltd	Free license for students, well integrated w/ PCB design

# Principio di funzionamento del simulatore SPICE - 1

---

- ❑ La prima versione risale al 1971. Risolveva circuiti con al massimo 400 componenti e 100 nodi, l'input avveniva mediante schede perforate, così come l'intero programma ed era scritto in FORTRAN.
- ❑ Nel corso degli anni sono state rilasciate nuove versioni del programma caratterizzate dall'utilizzo di metodi numerici più efficienti, da un linguaggio più potente e da modelli più completi dei dispositivi.
- ❑ Per conoscere il comportamento di un circuito elettrico o elettronico è necessario risolvere un sistema di equazioni integro-differenziali dedotte dalla teoria dei circuiti. Al crescere delle dimensioni del circuito diventa molto difficile, se non impossibile risolvere il circuito analiticamente.
- ❑ Spice risolve i circuiti usando esclusivamente tecniche di calcolo numerico.
- ❑ In nessun caso viene ottenuta una soluzione di tipo simbolico, ossia nella quale i valori dei componenti non siano stati completamente specificati. Ciò rende particolarmente importante e delicata la fase di inserimento dei valori numerici dei componenti usati nello schema circuitale.

# Principio di funzionamento del simulatore SPICE



# Principio di funzionamento del simulatore SPICE - 2

---

- SPICE impiega come metodo di simulazione l'analisi nodale modificata. L'analisi nodale modificata si realizza scrivendo un sistema di equazioni in cui le incognite sono le tensioni dei nodi e le correnti dei generatori di tensione.
  - Scegliere un nodo di riferimento
  - Numerare gli altri nodi
  - Esprimere le correnti in funzione dei potenziali di nodo
  - Aggiungere una equazione aggiuntiva e una variabile ausiliaria per ogni lato non controllabile in tensione (una equazione aggiuntiva per ogni generatore di tensione)
  - Scrivere le leggi di Kirchhoff delle correnti a tutti i nodi tranne a quello di riferimento
  - Risolvere il sistema calcolando tutti i potenziali di nodo
  - Calcolare tutte le correnti (già espresse in funzione dei potenziali di nodo).

# Principio di funzionamento del simulatore SPICE

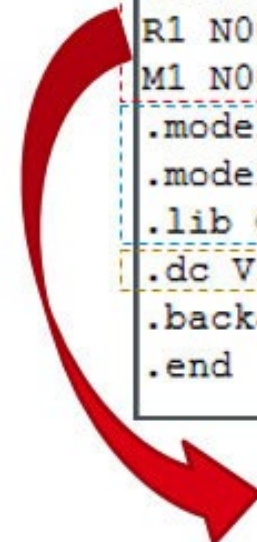
## Netlist

```
★ C:\Program Files\LTC\LTspiceIV\circuit\Draft1.asc
V1 N001 0 5
C1 N002 0 1n
R1 N002 0 100
M1 N001 0 N002 N002 RSR025P03
.model NMOS NMOS
.model PMOS PMOS
.lib C:\Program Files\LTC\LTspiceIV\lib\cmp\standard.mos
.dc V1 0 5 0.1
.backanno
.end
```

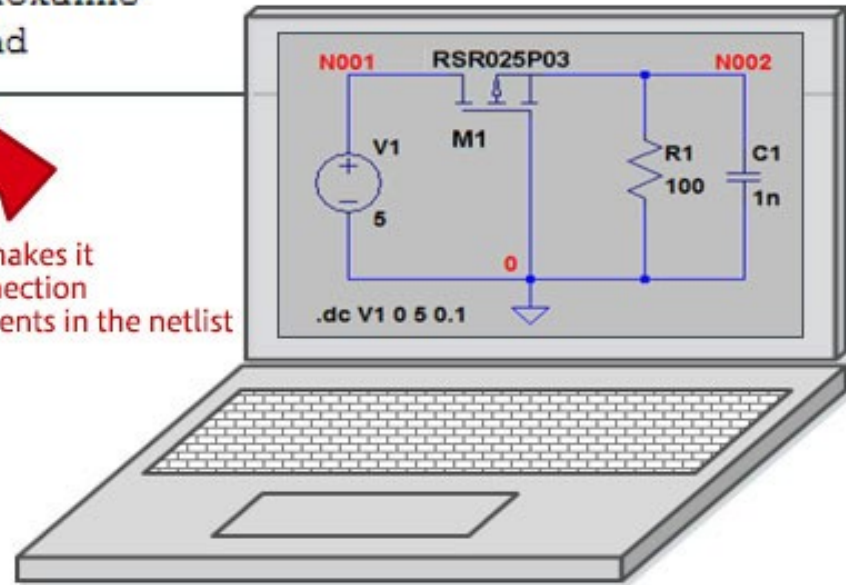
5 V power supply placed between N001 and 0  
1 nF capacitor placed between N002 and 0  
100Ω resistor placed between N002 and 0  
MOSFET (RSR025P03) placed  
Pin config ... N001: Drain 0: Gate  
N002: Source/Backgate

See MOSFET reference model

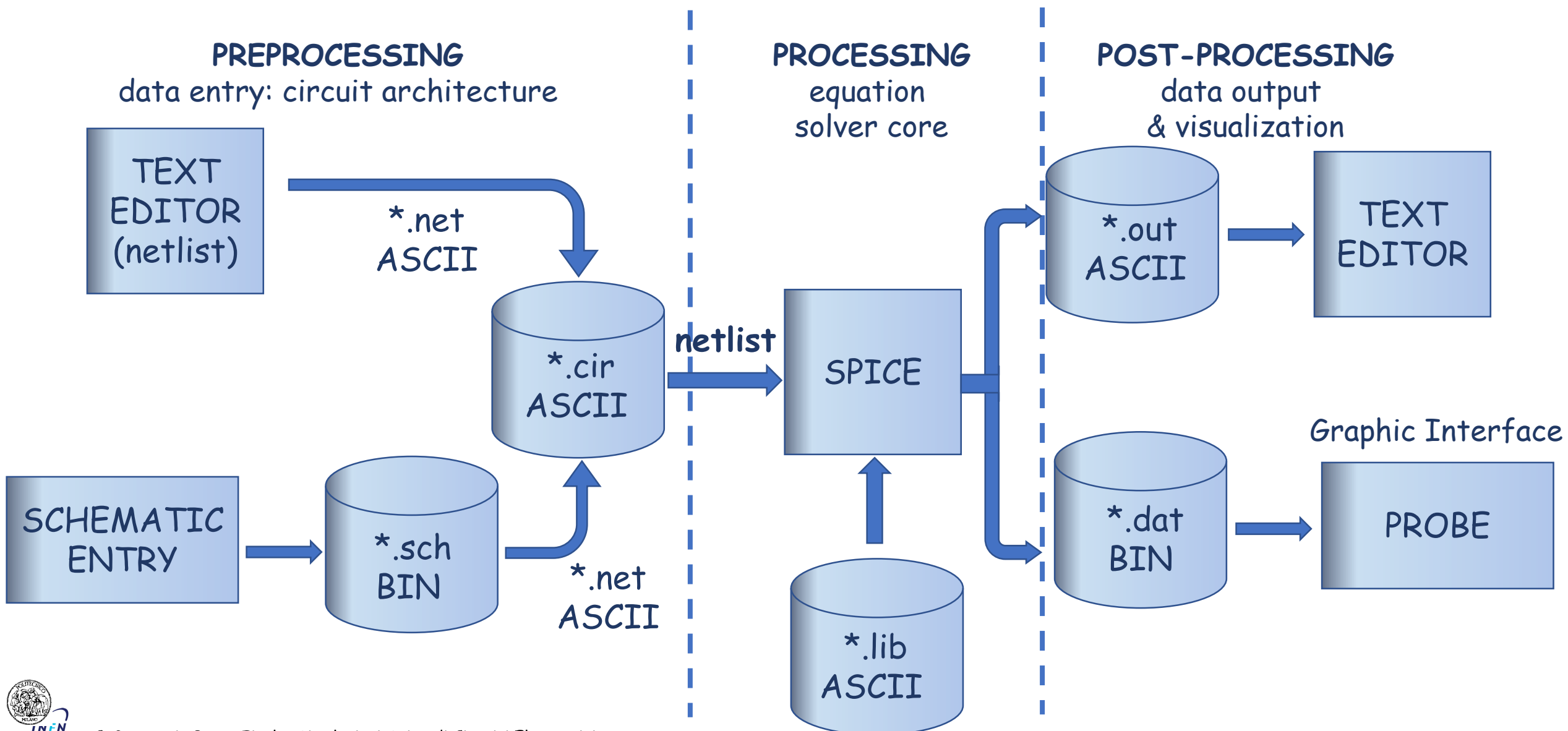
V1 of 0 to 5 V (0.1 V steps) applied



Circuit diagram makes it easier to see connection between components in the netlist



# Principio di funzionamento del simulatore SPICE





# Principio di funzionamento del simulatore SPICE

---

- ❑ PSpice elabora un file di input testuale detto netlist, un file ASCII, scritto rispettando la sintassi del linguaggio di Pspice-
- ❑ La netlist (file .net):
  - Contiene la definizione del circuito (chi e' collegato con chi)
  - Definisce i parametri dei dispositivi (valori dei componenti, etc.)
- ❑ Il simulatore necessita anche di conoscere il tipo di analisi da effettuare e le variabili da rappresentare in uscita, Queste informazioni sono contenute nel file descrittivo .cir, che
  - Include il file .net
  - Specifica il tipo di analisi da effettuare
  - Controlla l'output dei risultati di simulazione
- ❑ Invece di procedere alla scrittura del file di testo della netlist e del file descrittivo del circuito, possiamo ricorrere ad una interfaccia grafica per l'inserimento dello schematico del circuito, del tipo di analisi da effettuare e delle variabili di cui vogliamo vedere l'andamento in uscita.

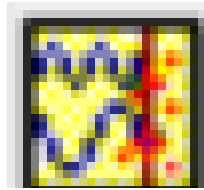
# Studio di un circuito con SPICE

## □ Disegno del circuito → Schematics



Un editor grafico, usato per disegnare sullo schermo il circuito da simulare. Consente di posizionare i componenti, collegarli tra loro per formare il circuito e inoltre permette di specificare il tipo di analisi da eseguire.

## □ Simulazione - PSpice A/D



Il programma che simula il circuito creato con Schematics. Simulare un circuito significa costruire un modello matematico del circuito a partire dai modelli o relazioni costitutive dei componenti e risolverne le equazioni risultanti.

## □ Visualizzazione dei risultati - Probe



Programma che fornisce una visualizzazione grafica dei risultati generati da PSpice. Può essere utilizzato per tracciare il grafico di una qualunque tensione o corrente del circuito o di grandezze da queste derivate.

# File ed estensioni generati da pSPICE

---

- ✓ **.opj** - file di progetto complessivo di Capture
- ✓ **.sch** - schematico di Capture o di Schematics
- ✓ **.net** - netlist - contiene tutte le informazioni relative ai componenti e ai collegamenti necessarie alla soluzione del circuito
- ✓ **.cir** - file di input di PSpice che contiene la descrizione del circuito e il tipo di analisi che si intende eseguire. Inizia sempre con una riga di titolo (ignorata da PSpice) e termina sempre con il comando **.END**
- ✓ **.sim** - profilo della simulazione
- ✓ **.lib** - nome del file di libreria contiene la descrizione in linguaggio PSpice dei modelli che si vogliono utilizzare per i diversi componenti
- ✓ **.olb** o **.slb** - libreria dei componenti (part library) è quella che contiene il disegno del componente associato al componente di libreria
- ✓ **.out** - contiene i risultati dell'analisi

# Valori numerici e unita' di misura in SPICE - 1

□ Esistono tre modi diversi per comunicare un valore numerico a Pspice:

- numero in virgola fissa o mobile

- numero completo di unita' di misura, PSpice non effettua alcun controllo sulla validita' dell'unita' di misura, e la ignora completamente, Nei grafici generati da PROBE le unita di misura sono aggiunte automaticamente.

- specificare un multiplo o sottomultiplo

Moltiplicatore	Simbolo	Prefisso
$10^{-15}$	f	femto-
$10^{-12}$	p	pico-
$10^{-9}$	n	nano-
$10^{-6}$	u	micro-
$25.4 \cdot 10^{-6}$	mil	(millimetri equivalenti a un milionesimo di pollice)
$10^{-3}$	m	milli-
$10^3$	K	kilo-
$10^6$	MEG	mega-
$10^9$	G	giga-
$10^{12}$	T	tera-

# Valori numerici e unita' di misura in SPICE - 2

---

- PSpice non distingue in nessun caso tra maiuscole e minuscole
- Errori tipici:
  - Spazio tra numero e suffisso... da' errore!
  - Resistenza da  $1M\Omega \rightarrow 1M$  per SPICE equivale a 1 milliohm (nove ordini di grandezza in meno!), occorre scrivere 1MEG
  - Condensatore da  $1mF \rightarrow 0.001F$  per SPICE e' una capacita' da  $0.001fF$ , cioe'  $10^{-3} \times 10^{-15}$  Farad, cioe'  $1aF$ ,  $10^{-18}$  Farad!!!! Oltre ad essere, ovviamente, errata e' una capacita' piccolissima che potrebbe mandare in underflow gli algoritmi di calcolo.  
Occorre, quindi scrivere semplicemente 0.001 oppure  $1e-3$

# Elementi necessari per la simulazione in SPICE

---

Circuit topology


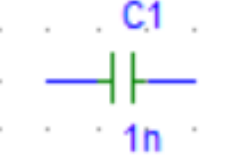

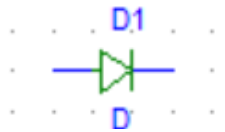


Analysis type

Elements for  
simulation

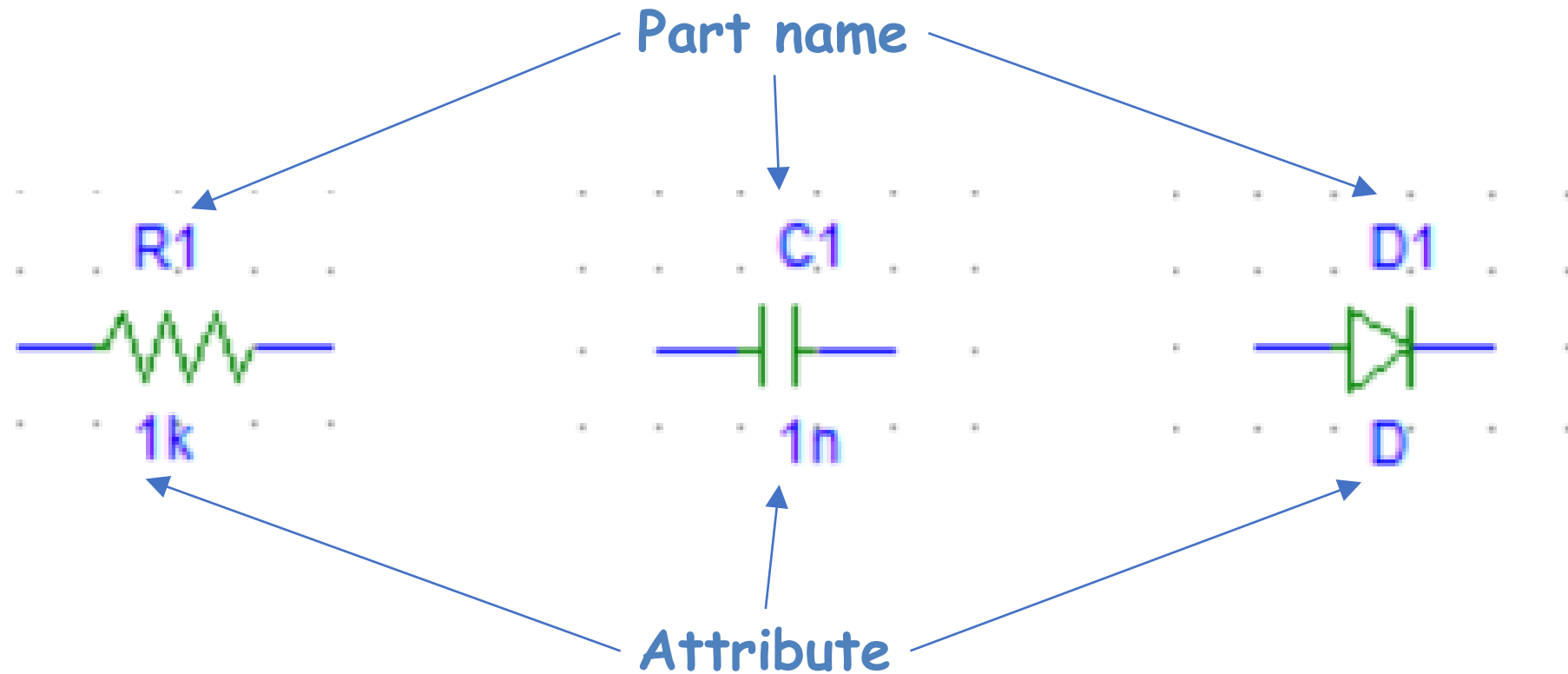
Simulation models  
corresponding to  
the parts in circuit

Stimulus definitions  
to test with

# Elementi circuitali - 1

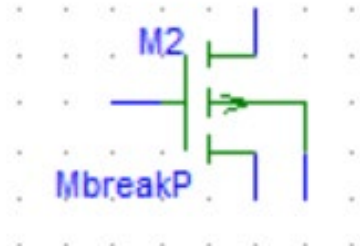
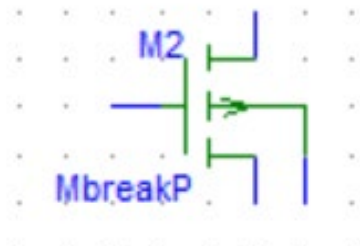
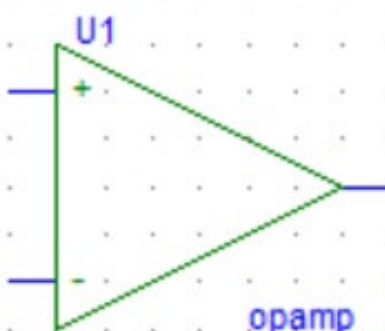
Componente	Nome	Simbolo	Libreria
Resistore	R		analog/breakout
Condensatore	C		analog/breakout
Induttore	L		analog/breakout
Diodo	D		breakout
Analog ground	GND_ANALOG / AGND		port
Earth ground	GND_EARTH / EGND		port

# Elementi circuitali



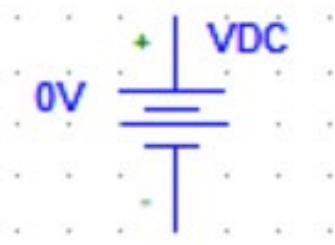

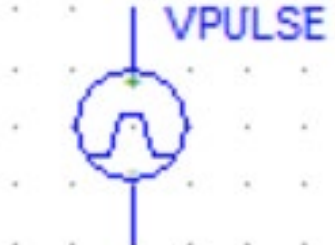
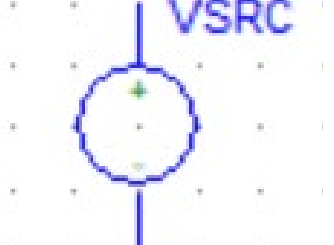
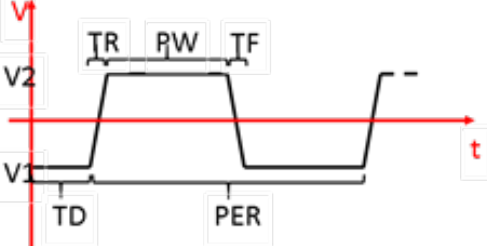


# Elementi circuitali - 2

Componente	Nome	Simbolo	Libreria
MOSFET a canale n	MbreakN		breakout
MOSFET a canale p	MbreakP		breakout
OPAMP	OPAMP		breakout

# Generatori di tensione e corrente

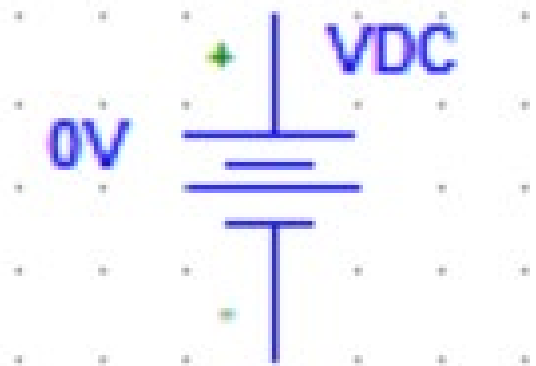
- Tutti i generatori (questi ed altri) sono nella libreria source.slb

Tipo di generatore	DC Voltage Source	AC Voltage Source	Pulsed Voltage source	V source
Nome	VDC	VAC	VPULSE	VSRC
Simbolo				
Descrizione	Generatore di tensione in DC, per la simulazione del punto di lavoro	Generatore di tensione in frequenza, per il la simulazione della funzione di trasferimento		Generatore in cui e' possibile definire un parametro per tipo di analisi

- Sostituendo I a V nel nome, si ottengono i corrispondenti generatori di tensione

# Generatori di tensione e corrente

## DC Voltage Source



V8 PartName: VDC

Name	Value
REFDES	= V8

- \* REFDES=V8
- \* TEMPLATE=V^@REFDES %+ %- @DC
- DC=0V
- \* SIMULATIONONLY=
- \* PART=VDC
- \* MODEL=
- PKGREF=V8

Include Non-changeable Attributes

Include System-defined Attributes

Buttons: Save Attr, Change Display, Delete, OK, Cancel

# Generatori di tensione e corrente

## AC Voltage Source



V9 PartName: VAC

Name	Value
REFDES	= V9

- \* REFDES=V9
- \* TEMPLATE=V^@REFDES %+ %- ?DC|DC @DC| #ACMAG|K
- DC=0V
- \* SIMULATIONONLY=
- \* PART=VAC
- ACMAG=0V
- ACPHASE=

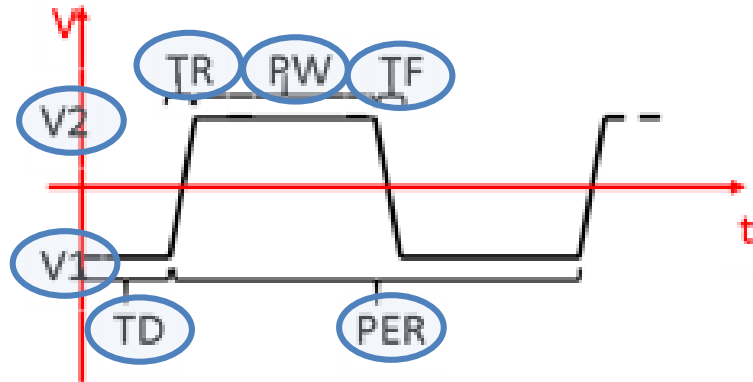
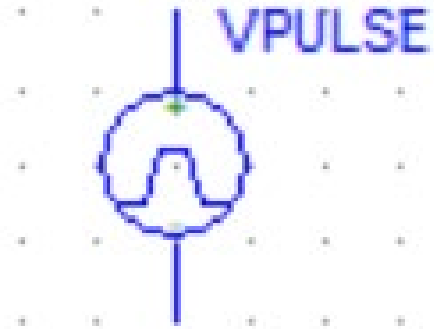
Include Non-changeable Attributes

Include System-defined Attributes

Buttons: Save Attr, Change Display, Delete, OK, Cancel

# Generatori di tensione e corrente

## Periodic Pulsed Voltage Source



V10 PartName: VPULSE

Name Value

REFDES = V10

Save Attr

\* REFDES=V10

\* TEMPLATE=V^@REFDES %+ %- ?DC|DC @DC| ?AC|AC @

DC=

ΔC=

V1=

V2=

TD=

Include No

Include Sy

V10 PartName: VPULSE

Name Value

REFDES = V10

TD=

TR=

TF=

PW=

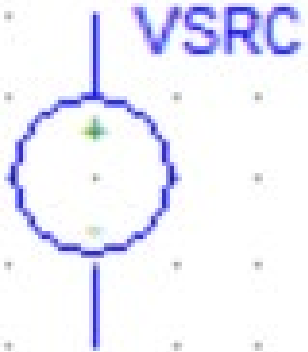
PER=

SIMULATIONONLY=

PKGREF=V10

# Generatori di tensione e corrente

## Voltage Source



V11 PartName: VSRC

Name	Value
REFDES	= V11

\* REFDES=V11  
\* TEMPLATE=V^@REFDES %+ %- ?DC|DC @DC| ?AC|AC @AC|

	This property...	Has this syntax...
DC=	DC	<i>DC_value[units]</i>
AC=	AC	<i>magnitude_value[units] [phase_value]</i>
TRAN=	TRAN	<i>time-based_type (parameters)</i>
SIMULATIONONLY=		where <i>time-based_type</i> is EXP, PULSE, PWL, SFFM, or SIN, and the <i>parameters</i> depend on the <i>time-based_type</i> .
PKGREF=V11		

Include Non-changeable  
 Include System-defined

- Il generatore VSRC (o ISRC) hanno una proprietà per ciascun tipo di analisi, che può essere impostata secondo una precisa sintassi.

# Tipi di analisi possibili in SPICE

- Esistono diversi tipi di analisi possibili, non tutti selezionabili contemporaneamente.

Analysis Setup

Enabled		Enabled	
<input type="checkbox"/>	AC Sweep...		Options...
<input type="checkbox"/>	Load Bias Point...	<input type="checkbox"/>	Parametric...
<input type="checkbox"/>	Save Bias Point...	<input type="checkbox"/>	Sensitivity...
<input type="checkbox"/>	DC Sweep...	<input type="checkbox"/>	Temperature...
<input type="checkbox"/>	Monte Carlo/Worst Case...	<input type="checkbox"/>	Transfer Function...
<input checked="" type="checkbox"/>	Bias Point Detail	<input type="checkbox"/>	Transient...
	Digital Setup...		

# Tipi di analisi possibili in SPICE

## □ DC sweep & other DC calculations:

- **BIAS POINT:** simula le correnti in tutti i rami e le tensioni in tutti i nodi, in regime stazionario, cioè con tutte le tensioni e correnti dei generatori indipendenti fissate ad un determinato valore (è l'analisi che viene sempre svolta anche se non specificato)
- **DC SWEEP:** simula il circuito in DC, fornendo una grandezza di uscita al variare di un generatore indipendente considerato come variabile di ingresso.



The screenshot shows the 'DC Sweep' dialog box with the following settings:

- Swept Var. Type:** Voltage Source (selected), Temperature, Current Source, Model Parameter, Global Parameter.
- Name:** [Empty text field]
- Model Type:** [Empty text field]
- Model Name:** [Empty text field]
- Param. Name:** [Empty text field]
- Sweep Type:** Linear (selected), Octave, Decade, Value List.
- Start Value:** [Empty text field]
- End Value:** [Empty text field]
- Increment:** [Empty text field]
- Values:** [Empty text field]

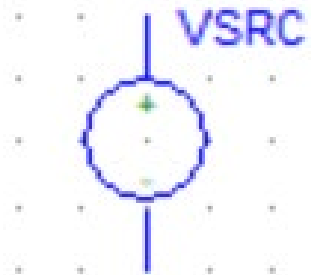
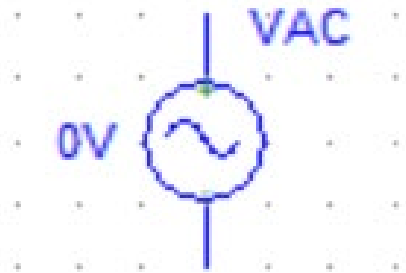
Buttons at the bottom: 'Nested Sweep...', 'OK', 'Cancel'.



# Tipi di analisi possibili in SPICE

## □ AC sweep (& noise):

- AC SWEEP: simula il circuito fornendo le tensioni ai nodi di un circuito lineare come numeri complessi in funzione della frequenza del generatore sinusoidale applicato.



AC Sweep and Noise Analysis

AC Sweep Type

Linear

Octave

Decade

Sweep Parameters

Total Pts.: 101

Start Freq.: 10

End Freq.: 1.00K

Noise Analysis

Noise Enabled

Output Voltage:

I/W

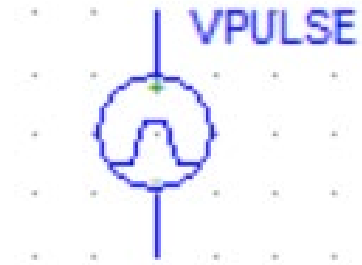
Interval:

OK Cancel

# Tipi di analisi possibili in SPICE

## □ Transient (& Fourier):

- TRANSIENT: calcola le tensioni di nodo come forma d'onda in funzione del tempo „



Transient

Transient Analysis

Print Step: 0ns

Final Time: 1200u

No-Print Delay: |

Step Ceiling: 100n

Detailed Bias Pt.

Skip initial transient solution

Fourier Analysis

Enable Fourier

Center Frequency: |

Number of harmonics: |

Output Vars.: |

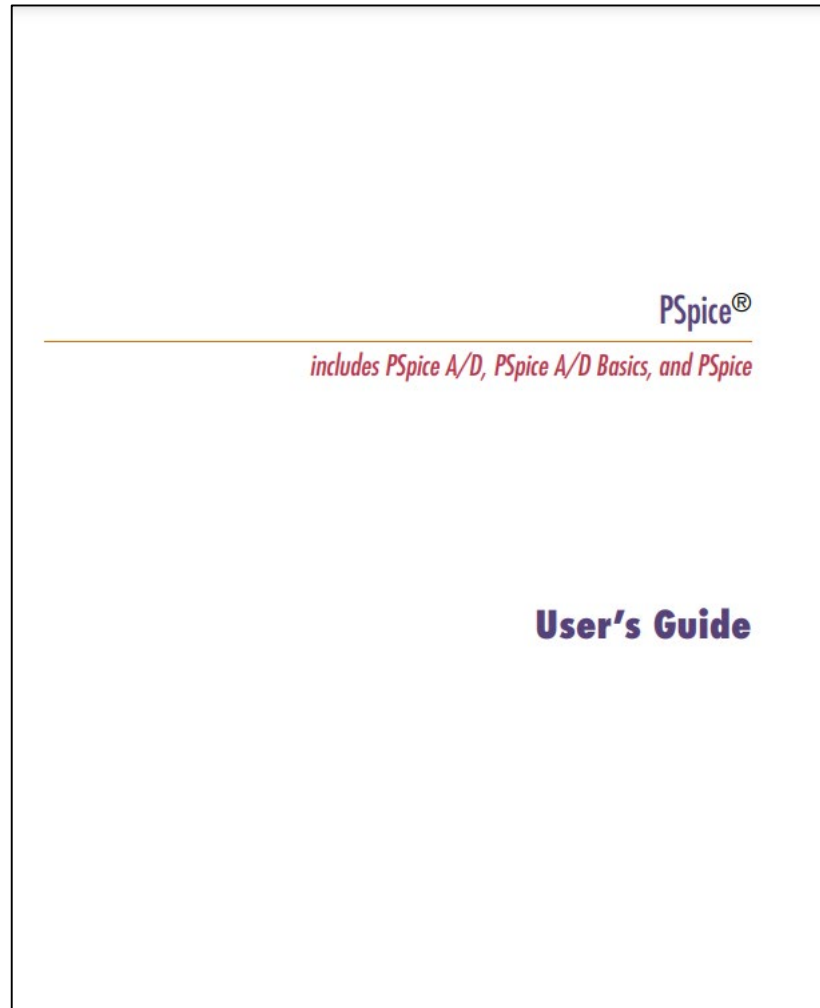
OK Cancel

# Analisi multi-run in SPICE

---

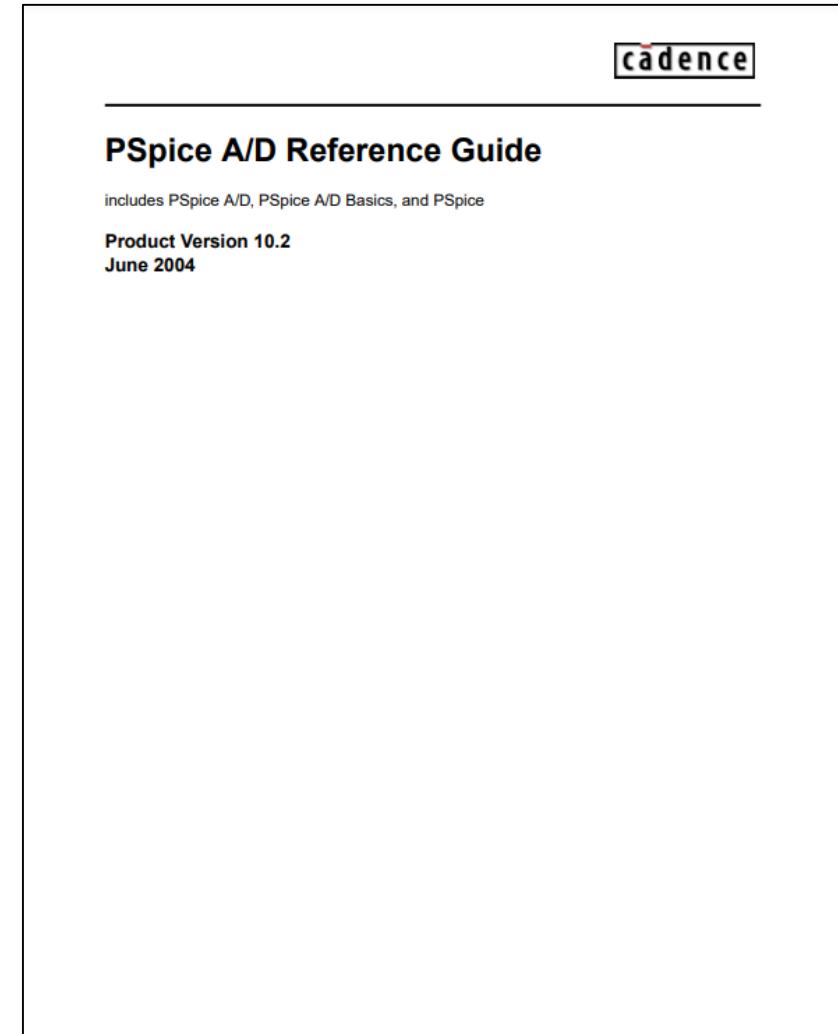
- Advanced multi-run analyses
- Parametric and temperature
- Monte Carlo and sensitivity/worst-case

# Quando non si sa qualcosa...



610 pagine...

la guida all'uso passo passo



426 pagine...

il dizionario dei comandi e dei modelli