

# ESPERIENZE DI LABORATORIO “LEGGERO” IN AULA

Davide Cammarota

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni  
Istituto Tecnico Industriale "E. Mattei" - Maglie (LE)  
davide.cammarota@istruzione.it

*Sono descritte alcune esperienze didattiche svolte in aula utilizzando una scheda sperimentale con interfaccia USB a basso costo (inferiore a 100 €) collegata ad un notebook standard. L'attrezzatura può essere usata senza particolari problemi in qualsiasi aula didattica e non richiede il trasferimento degli alunni nell'eventuale laboratorio. Può essere inoltre usata anche dal solo docente di teoria, senza la copresenza dell'ITP.*

*Le esperienze svolte riguardano in particolare il rilievo delle caratteristiche elettriche di un inverter CMOS, quelle di alcuni dispositivi elettronici discreti (diodi, BJT) ed infine lo studio del transitorio in un circuito RC. Il software è stato sviluppato usando un linguaggio Open Source orientato agli oggetti (Python).*

## 1. Introduzione

L'insegnamento delle discipline a contenuto scientifico e tecnologico è spesso penalizzato dalle difficoltà logistiche legate all'uso dei laboratori didattici.

I laboratori infatti sono complessi da gestire e richiedono risorse e personale specializzato non sempre disponibili.

D'altra parte la lezione frontale, specie nelle discipline dell'area tecnica, beneficia in modo sostanziale della possibilità di compiere semplici esperimenti che diano corpo alla teoria e che aumentino il livello di attenzione e di interesse allo studio degli alunni.

### 1.1. Contesto di riferimento

Il problema di accrescere la motivazione degli alunni e di arricchire la lezione frontale con contenuti aggiuntivi rispetto a quelli tradizionali è stato ampiamente dibattuto e tra gli autori c'è un'ampia convergenza nel valutare positivamente l'effetto di tali apporti sul processo di insegnamento/apprendimento [b.8].

La pratica didattica mostra tuttavia che i contenuti che hanno maggiore impatto sugli alunni sono quelli che derivano dallo svolgimento di esperienze e misure di laboratorio. Tali contenuti, a differenza di quelli multimediali convenzionali di tipo statico (presentazioni elettroniche, filmati, immagini), provengono da dispositivi e misurazione “reali” e possono essere utilizzati con una maggiore efficacia didattica da parte dei docenti.

Le esperienze descritte in questo documento sono state presentate ed utilizzate nelle classi 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> di un Istituto Tecnico Industriale con indirizzo Liceo tecnico - informatica industriale e Liceo Tecnico - Elettronica e Telecomunicazioni. Si tratta di indirizzi sperimentali, istituiti in alcune scuole del territorio nazionale nel

2000, in cui il curriculum ha ridotto drasticamente le ore destinate alle discipline ad indirizzo elettronico, eliminando per il 3° anno il laboratorio [s.2].

Le esperienze qui descritte consentono di recuperare in parte la carenza oraria delle ore di laboratorio ma soprattutto permettono di offrire agli alunni una visione più unitaria della disciplina, spesso artificiosamente separata tra la parte pratica laboratoriale e la parte teorica.

### *1.2. Scopo del presente contributo*

La finalità del presente contributo è quella di condividere l'approccio descritto sia in termini di metodologie didattiche che in termini di attrezzatura, circuiti, software e documentazione.

Ovviamente l'attività qui descritta non può in alcun modo sostituire la normale attività di laboratorio, svolta dagli alunni in prima persona, sui banchi di misura, con l'uso diretto degli strumenti. Piuttosto si tratta di un utile supporto al lavoro della lezione frontale, usato dal docente, che può fungere da *trailer* per la successiva attività di laboratorio.

### *1.3. Caratteristiche della scheda di interfaccia*

La scheda USB usata per le sperimentazioni è disponibile in commercio con la sigla K8061 ed è prodotta dalla ditta belga Welleman [s.7], sotto forma di kit di montaggio.

Le porte di ingresso/uscita disponibili sulla scheda sono le seguenti:

- 8 ingressi analogici, risoluzione 10 bit, 0..5/10 V, impedenza 20 k $\Omega$
- 8 uscite analogiche, risoluzione 8 bit, 0..5/10 V, impedenza 47  $\Omega$
- 8 ingressi digitali, 8 uscite digitali open collector
- 1 uscita open collector PWM risoluzione 10 bit, duty cycle 0..100%

Per non sovraccaricare eccessivamente le uscite analogiche con elevati valori di corrente in uscita su una delle uscite è stato collegato un circuito inseguitore di tensione con booster di corrente realizzato con operazionale esterno. In tal modo la massima corrente è stata portata a circa 10V/100 mA.

## **2. Configurazione della stazione di lavoro**

Nel presente paragrafo verrà descritta dettagliatamente la stazione di lavoro impiegata nello svolgimento delle esperienze con riferimento a:

- configurazione software del notebook/personal computer
- scheda di interfaccia
- circuiti accessori

### *2.1. Configurazione del computer host*

Il computer host che ospita la scheda di interfaccia (collegata via USB) ed il software sul quale sono state effettuate le esperienze descritte è un personal computer standard dotato di sistema operativo Windows.

Il software di misura è stato scritto in Python e si avvale del pacchetto di elaborazione grafica 2D Matplotlib il quale a sua volta richiede il pacchetto di elaborazione numerica Numpy.

Pertanto per poter effettuare le misure sul PC host andranno installati, nell'ordine, i seguenti pacchetti:

- linguaggio Python [s.1]
- modulo Numpy (elaborazione numerica in Python) [s.5]
- modulo Matplotlib (elaborazione grafica in Python) [s.6]

Tutti i moduli sono *open source*, facilmente reperibili in rete e distribuiti sotto licenza GNU. L'installazione è semplice ed avviene attraverso un processo di scelte guidate. Possono essere adottate le scelte di *default*.

## 2.2. Collegamento ed attivazione della scheda

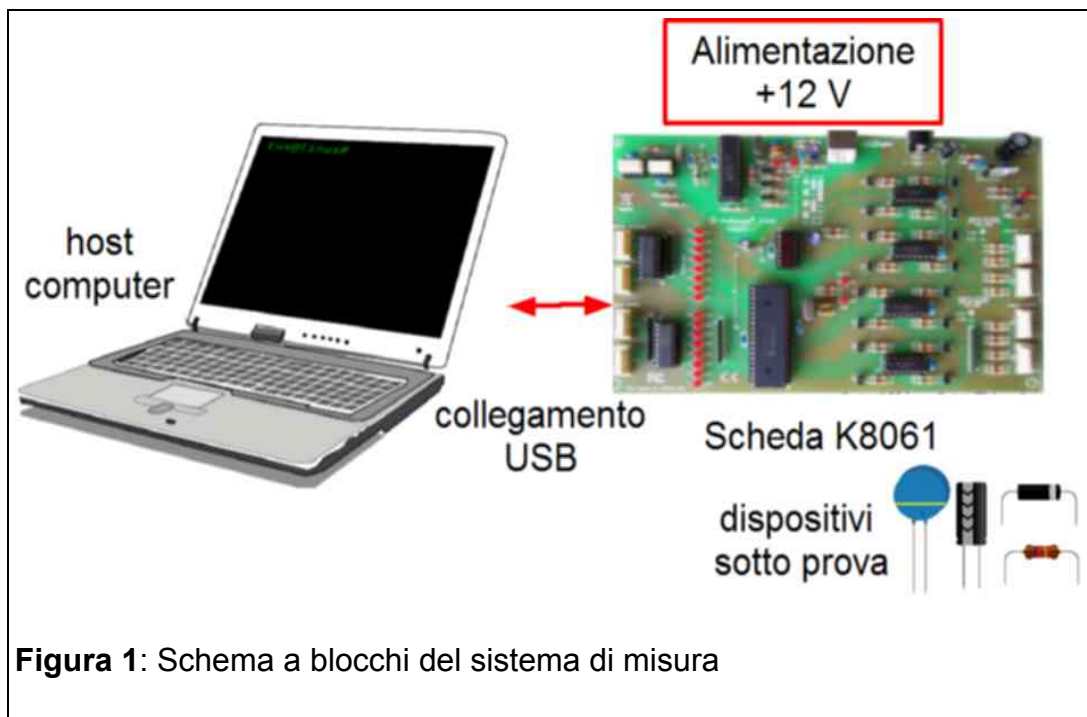
Il collegamento della scheda al computer host è immediato ed avviene tramite una porta USB 1.1 libera a disposizione. La comunicazione tra host computer e scheda avviene tramite interfaccia USB di classe HID a bassa velocità [s.3].

La connessione USB assicura, oltre al collegamento seriale dei dati, anche una tensione di alimentazione di +5 V, usata per alimentare la sezione della scheda gestita dai microcontrollori. La rimanente sezione della scheda riservata all'interfaccia degli ingressi e delle uscite digitali ed analogiche, richiede un'alimentazione a +12 V.

Per la corretta comunicazione con la scheda sono necessari i due file *K8061.dll* e *mpusbapi.dll*, contenenti le librerie dinamiche richieste, da copiare in una cartella di sistema (di solito `\windows\system32`).

## 2.3. Circuiti accessori

A questo punto il sistema è pronto per essere usato:



Il collegamento dei dispositivi sui quali effettuare le misure viene realizzato tramite un'interfaccia realizzata *ad hoc* con connettore in linea a 8 poli. Nella foto n. 1 sono riprodotti i connettori per la misura delle caratteristiche V/I di uscita di un BJT, le caratteristiche I/O di un circuito invertente CMOS e quello per il rilievo della carica di un condensatore.

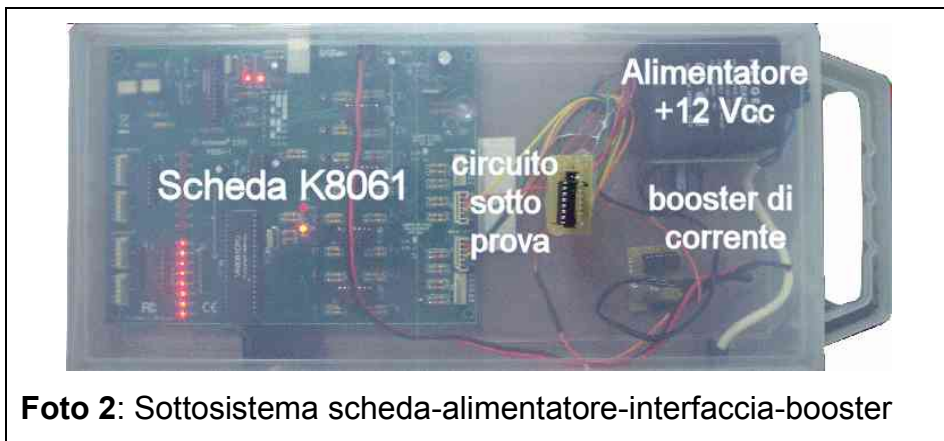


**Foto 1:** Particolare dei connettori

Ad ogni modulo realizzato per effettuare una misura su un particolare dispositivo corrisponde sul lato host un software specifico (un programma Python) che implementa la misura, raccoglie i dati sperimentali e li rappresenta graficamente oppure in forma tabellare.

Nella foto n. 2 è riprodotto invece il sottosistema integrato costituito dalla scheda di interfaccia, dall'alimentatore stabilizzato, dal booster di corrente e dal circuito sotto prova.

Il tutto è stato posto in un comodo contenitore in plastica trasparente dotato di maniglia per un facile trasporto (dimensioni 17 cm x 37 cm x 5 cm). I contatti del connettore di in-



**Foto 2:** Sottosistema scheda-alimentatore-interfaccia-booster

terfaccia tra la scheda ed il circuito sotto riportati nella tabella seguente:

Num.	Sigla	Descrizione
1	GND	Tensione di riferimento 0 V - massa
2	OUT5	Uscita analogica 5 (max 200 mA)
3	OUT6	Uscita analogica 6 (max 30 mA)
4	OUT7	Uscita analogica 7 (max 30 mA)
5	IN1	Ingresso analogico 1
6	IN2	Ingresso analogico 2
7	IN3	Ingresso analogico 3
8	IN4	Ingresso analogico 4

**Tabella 1:** Collegamenti del connettore scheda-dispositivo

### 3. Le esperienze realizzate

La scheda K8061 è stata utilmente impiegata in classe nelle discipline di Elettronica Generale (4<sup>o</sup> anno) ed Elettronica Digitale (3<sup>o</sup> anno) per lo svolgimento di diverse esperienze didattiche tra le quali segnalo:

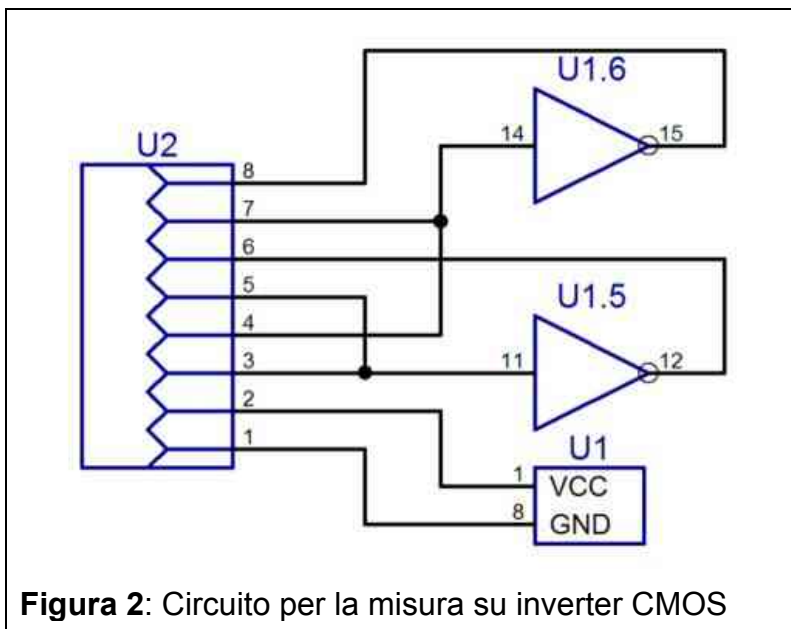
- rilievo della caratteristica  $V_{out}=f(V_{in})$  di un circuito invertente standard CMOS e misura automatica dei parametri  $V_{IH}$ , e  $V_{IL}$ . (cfr. [b.6])
- rilievo della curva caratteristica  $I_d=f(V_d)$  di diodi a semiconduttore
- rilievo della famiglia di curve caratteristica  $I_c(V_{ce})$  con  $I_b=costante$  di alcuni transistori bipolari al silicio (NPN) (cfr. [s.4])
- rilievo della curva di carica in un circuito RC

Sono tutte esperienze classiche che però richiedono almeno dalle 2 alle 3 ore di laboratorio per ciascuna, oltre al tempo necessario per elaborare i dati. Il loro svolgimento in classe consente di aggiungere alla lezione un utile aggancio con la realtà sperimentale. Si passa alla descrizione dettagliata di alcune delle esperienze descritte.

#### 3.1. Caratteristica elettrica I/O di una porta logica invertente CMOS

La porta logica inverter CMOS costituisce la funzione base di tutte le altre configurazioni e quindi la sua comprensione è particolarmente importante ai fini di una corretta interpretazione del funzionamento delle altre porte logiche di quella famiglia.

Il circuito di misura impiegato è il seguente:

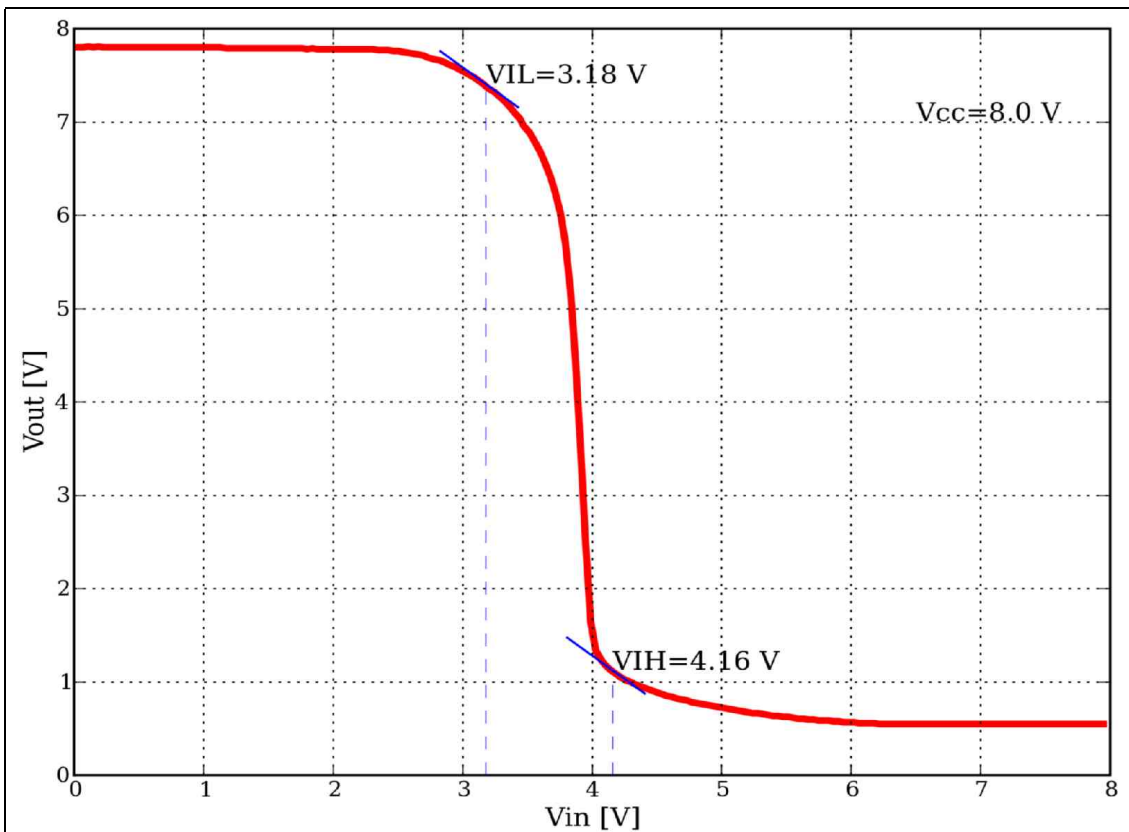


**Figura 2:** Circuito per la misura su inverter CMOS

L'integrato scelto è siglato HCF4049 ed è un inverter buffer in tecnologia Cmos, con package DIP16 contenente 6 porte delle quali solo due sono oggetto della misura.

Come si può osservare dal circuito di misura l'alimentazione all'integrato è ottenuta dall'uscita a corrente maggiorata della scheda K8061 (OUT5). La porta 5 è pilotata in ingresso

dall'uscita OUT6 e le tensioni in input ed output sono lette rispettivamente dagli ingressi IN1 e IN2. Analogo processo avviene per la porta 6. Un esempio di curva I/O ottenuta sperimentalmente è riportato nella figura 3.



**Figura 3:** Caratteristica misurata di un inverter CMOS sigla HCF4049UBE

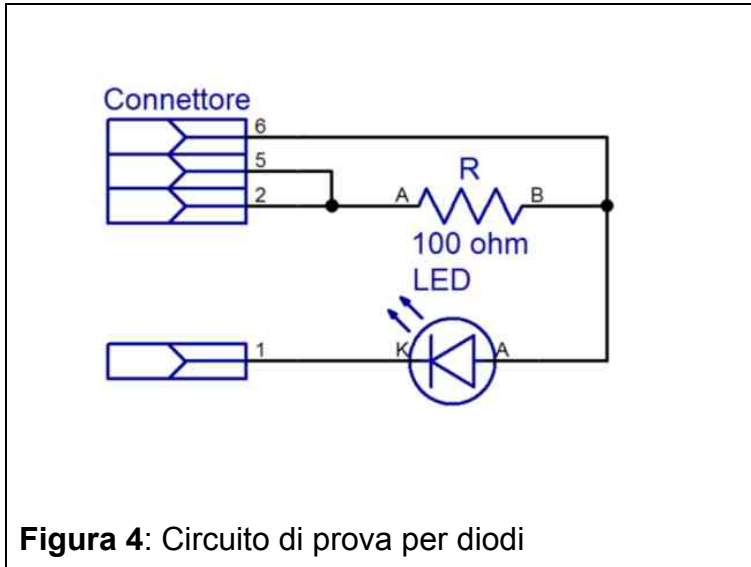
La curva viene ottenuta in *diretta* in classe un tempo di alcuni secondi e consente di effettuare molte osservazioni, come ad esempio verificarne le variazioni con la tensione di alimentazione, modificabile parametricamente via software. Il software stesso inoltre ricava i punti a pendenza pari a -1 definiti in letteratura [b.6] come i valori di ingresso limite per interpretare la tensione come un "1" logico oppure come uno "0" logico. Sempre da programma è possibile ottenere le curve relative ad entrambe le porte logiche (la 5 e la 6) sovrapposte per apprezzarne la sostanziale identità.

Il software ha una logica di funzionamento semplice e consiste nello svolgimento di un ciclo iterativo in cui la tensione di ingresso viene variata a gradini tra i valori predefiniti (generalmente 0 e  $V_{CC}$ ). In corrispondenza di ciascun valore in ingresso il software provvede a leggere il valore della tensione di uscita, archiviando i dati misurati in una lista. Successivamente la lista viene utilizzata come input per il modulo grafico (libreria Matplotlib).

### 3.2. Rilievo della caratteristica tensione/corrente di diodi al silicio (LED, Zener e diodi general purpose)

Il diodo a semiconduttore è tradizionalmente il primo dispositivo con cui gli alunni entrano in contatto con l'elettronica come disciplina. Il grafico che ne rappresenta chiaramente il funzionamento è la classica curva  $I_d=f(V_d)$ , da sempre rappresentata sui libri di testo, ma non sui data sheet. La scheda offre l'opportunità

al docente di ottenere dal vivo il grafico variando il diodo sotto misura ed osservando le differenze corrispondenti a seconda che il diodo sia di segnale o di potenza, LED bianco, rosso, verde oppure che si tratti di uno zener. Il circuito di misura impiegato è il seguente:



**Figura 4:** Circuito di prova per diodi

In questo circuito possiamo osservare che la tensione viene applicata al diodo sotto prova tramite la resistenza R, di valore 100 Ω. Il valore della corrente viene ottenuto in modo indiretto e calcolato come rapporto tensione/resistenza misurando la caduta di tensione sulla resistenza R.

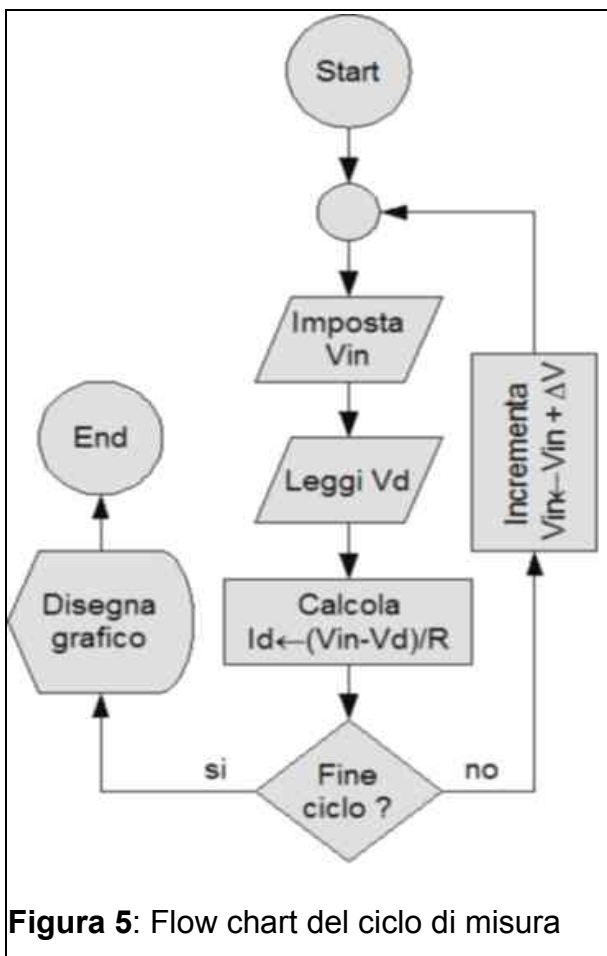
Il software provvede allo svolgimento iterativo del ciclo di misura elementare come rap-

presentato schematicamente nel *flow chart* di figura 5.

Lo *sweep* della tensione di ingresso si estende dal valore 0 fino alla massima tensione erogabile dall'hardware.

Esiste la possibilità di cambiare il dispositivo sotto misura semplicemente sostituendolo nello zoccolo predisposto. E' quindi facile verificare ad esempio le diverse tensioni di soglia tra diodi LED di colori diversi, oppure, invertendone la polarità, si può verificare la mancata conduzione di corrente. Infine è possibile inserire un diodo Zener e verificarne le diverse caratteristiche di conduzione, esaminandone sia la zona diretta che quella inversa.

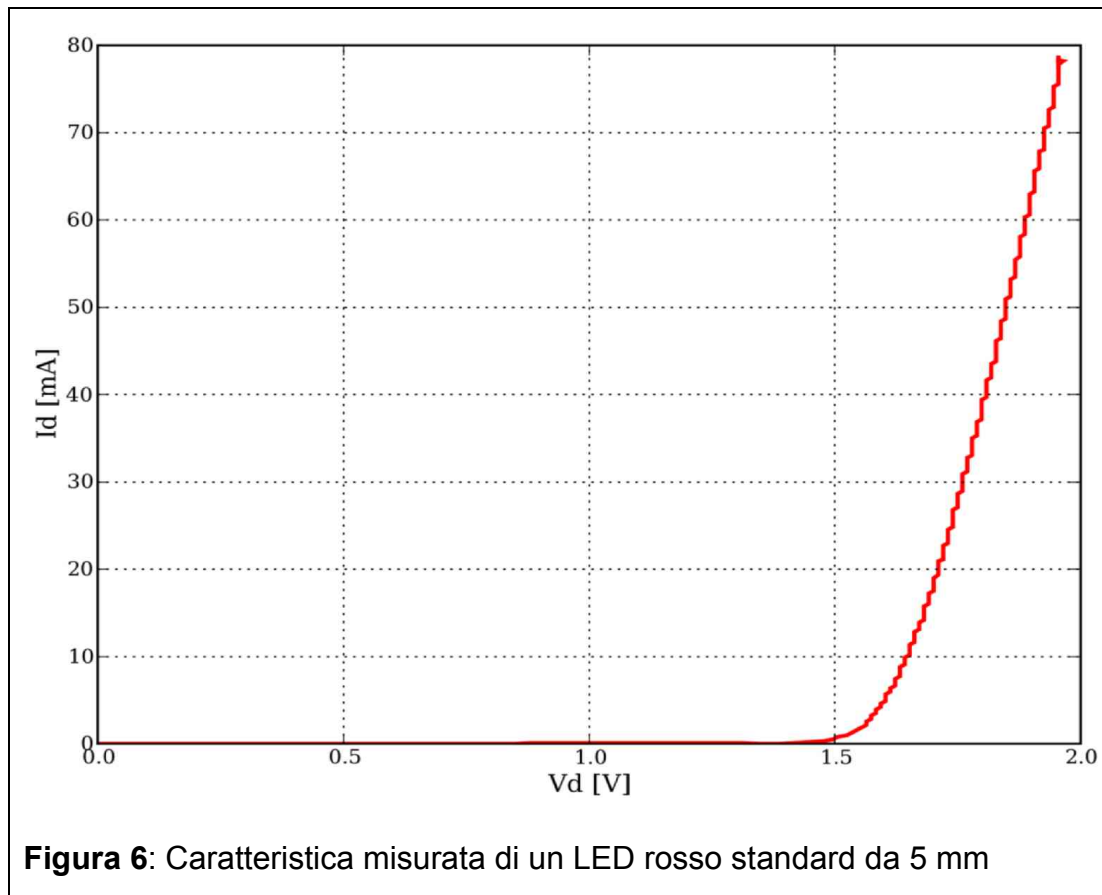
Il circuito usato, riportato in Figura 4, consente ulteriori possibilità semplicemente con la sostituzione del diodo da misurare con una resistenza di riferimento di valore  $R=100\ \Omega$ , identica a quella già presente nel circuito.



**Figura 5:** Flow chart del ciclo di misura

In tal caso  $V_{out}=0.5 \cdot V_{in}$  e si può effettuare una calibrazione/verifica di massima del sistema di misura ottenendo una retta.

Un esempio di grafico ottenuto sperimentalmente è quello riportato nella successiva figura 5, in cui è rappresentata la caratteristica elettrica di un diodo ad emissione di luce di colore rosso, standard da 5 mm.



I parametri elettrici che si possono leggere dal grafico, insieme con le relative, considerazioni didattiche che si possono svolgere sono, ad esempio, relative a:

- tensione di soglia  $V_\gamma \approx 1,5$  V, rilevabile per lettura diretta sul grafico;
- resistenza differenziale  $r_d = \Delta V_d / \Delta I_d \approx (1,65 - 1,60) / (50 - 10) \text{ V/mA} = 1,25 \text{ } \Omega$ , ricavabile elaborando i dati del grafico.

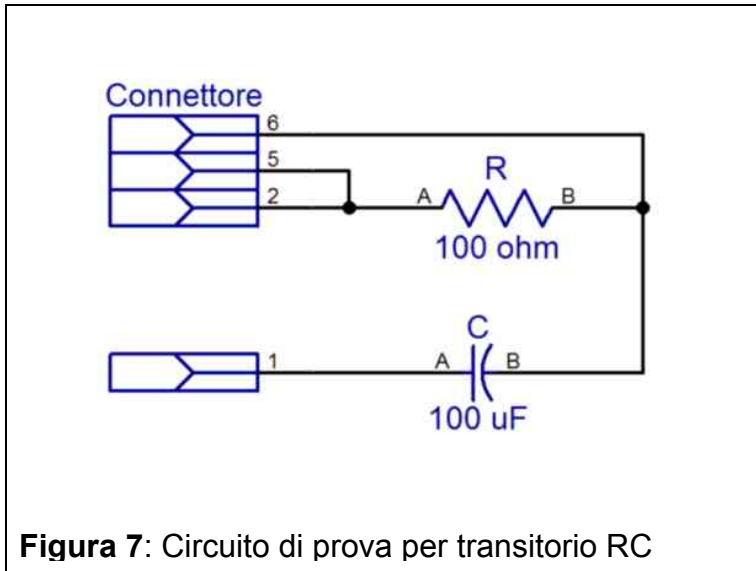
### 3.3. Rilievo del transitorio in un circuito RC

Il rilievo della curva di carica di un condensatore elettrico sottoposto ad un gradino di tensione è una delle esperienze classiche, svolte anche in fisica, oltre che in elettronica.

Per rilevare automaticamente l'andamento del transitorio è possibile usare un circuito di misura sostanzialmente identico a quello impiegato nella caso precedente (3.2) a parte la sostituzione del diodo con il condensatore in prova. In questo caso la misura può essere svolta solo nel caso di costanti di tempo non inferiori ai 10 millisecondi, essendo presente un ritardo intrinseco, dichiarato dal costruttore, di circa 4 ms per l'attuazione dei comandi impartiti alla scheda K8061. L'utilità didattica in questo caso è incrementata dalla possibilità di

confrontare in tempo reale la curva di carica calcolata con la legge teorica esponenziale e quella misurata sperimentalmente.

Data la criticità del fattore tempo in questo caso il software è stato ottimizzato per ridurre il tempo di ciclo.

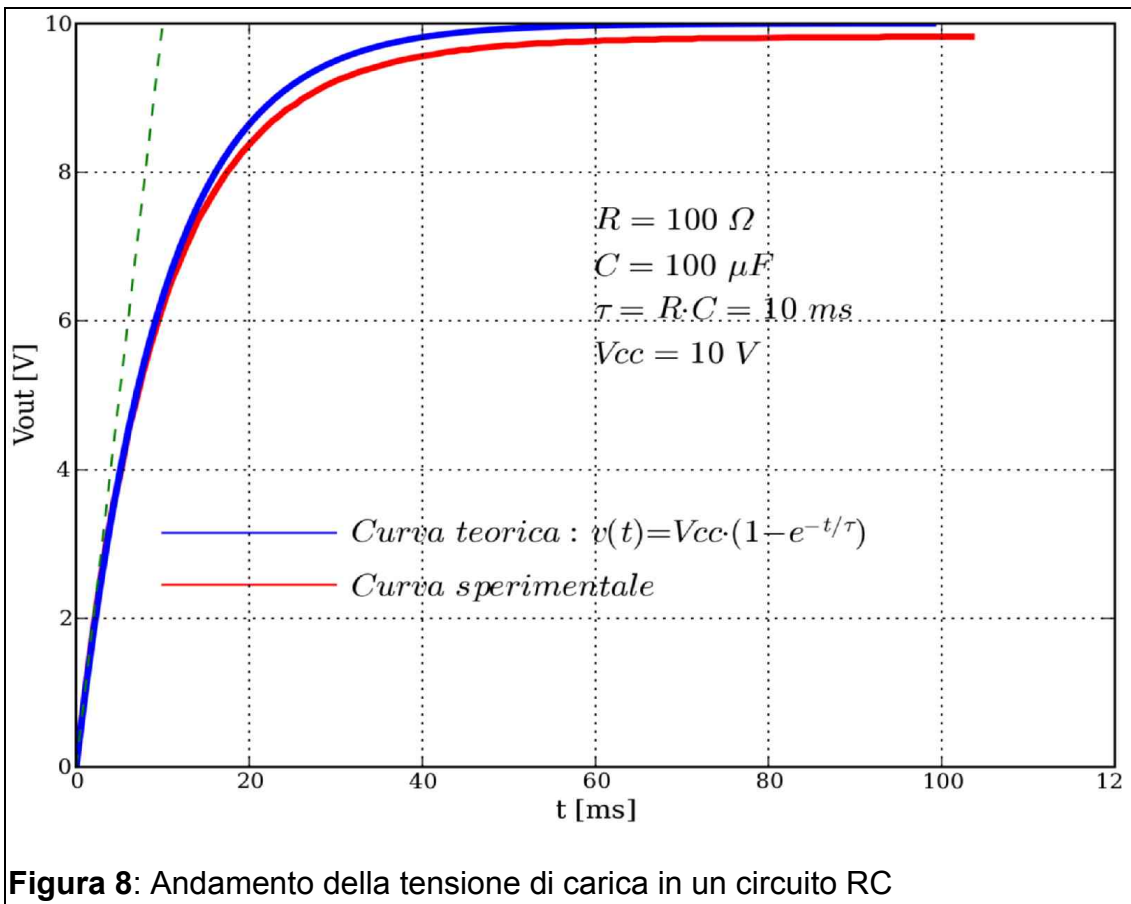


**Figura 7:** Circuito di prova per transitorio RC

Nella prova effettuata e di cui si riportano i risultati è stato impiegato un condensatore elettrolitico da  $100 \mu\text{F}$ , dando così luogo ad una costante di tempo  $\tau = 10 \text{ ms}$ .

Sul grafico ottenuto sperimentalmente il software provvede a tracciare anche la curva di riferimento teorica (andamento esponenziale) e la linea di costruzione usata normalmente per individuare

la costante di tempo di carica  $\tau$ :



**Figura 8:** Andamento della tensione di carica in un circuito RC

## 4. Conclusioni

Sono stati illustrati gli aspetti più significativi di alcune esperienze didattiche svolte in un istituto tecnico industriale a supporto delle lezioni teoriche di Eletttronica. La caratteristica principale di tali esperienze è l'uso di strumenti informatici individuali usabili in aula senza la necessità di onerosi spostamenti in laboratorio. Il materiale usato è economico e di facile reperibilità e consente di arricchire con contenuti multimediali dinamici *dal vivo* la lezione frontale.

Quelle qui rappresentate sono solo una ridotta campionatura delle esperienze che possono essere svolte in molte discipline. E' possibile utilizzare schede di acquisizione dati del tipo di quella impiegata nella presente applicazione in molte altre discipline tra cui si citano, a titolo esemplificativo:

- Fisica generale, scienze sperimentali in generale
- Informatica
- Rilievi ambientali
- Automazione e domotica
- Elettrotecnica

### 4.1. Considerazioni di carattere didattico

L'esperienza didattica sul campo ha mostrato che l'interesse degli alunni durante lo svolgimento degli esperimenti in classe è elevato ed è limitato solo dalla oggettiva difficoltà di permettere agli alunni stessi di operare in prima persona. Un altro aspetto che sarebbe molto interessante indagare è il coinvolgimento degli alunni nella progettazione del software/hardware necessario alla misura.

## 5. Bibliografia

- [b.1] Donald E. Knuth, 1973, *Fundamental Algorithms - t.a.o.c.p.*, Addison Wesley.
- [b.2] AA.VV., 2006, *Extended USB interface card*, Velleman Kit nv.
- [b.3] Donald E. Knuth, 1973, *Seminumerical Algorithms - t.a.o.c.p.*, Addison Wesley.
- [b.4] AA.VV., 2005, *Introduction to the DLL for the USB Interface Board K8061*, Velleman Kit nv.
- [b.5] J. Millmann, C. C. Halkias, 1979, *Integrated electronics*, McGraw-Hill Kogakusha Ltd.
- [b.6] Wai-Kai Chen, 1995, *The circuits and filters handbook*, CRC & IEEE Press.
- [b.7] Mark Lutz, 2001, *Programming Python - Object Oriented Scripting*, O'Reilly.
- [b.8] R. Maragliano, 2004, *Nuovo manuale di didattica multimediale*, Laterza

## 6. Sitografia

- [s.1] <http://www.python.org>, *The Python Programming Language*
- [s.2] <http://www.itismaglie.it>, *Sito ufficiale dell'ITIS "E. Mattei" di Maglie (LE)*
- [s.3] <http://www.usb.org>, *Universal Serial Bus*
- [s.4] <http://lnx.satellitedidattico.it/usb>, *Esperienze didattiche con la scheda K-8061*
- [s.5] <http://numpy.scipy.org/>, *Scientific computing with Python*
- [s.6] <http://matplotlib.sourceforge.net/>, *Python 2D plotting library*
- [s.7] <http://www.velleman.be/nl/en/home/>, *Velleman Components n.v.*