

## SCHEMA PER IL DOCENTE

CARICA E SCARICA DI UN CONDENSATORE AL LABORATORIO RTL

### I

#### Titolo dell'esperienza

## CARICA E SCARICA DI UN CONDENSATORE AL LABORATORIO RTL

#### Autori

**Paola Cattaneo, Savina Ieni, Lorella Liberatori e Marco Litterio**

Docenti del **L.S.S. Labriola (Ostia, Roma)**

### I

#### Indicazioni generali

Il laboratorio RTL offre la possibilità di seguire l'evoluzione temporale di una grandezza fisica e di ottenerne il grafico anche quando la descrizione matematica risulterebbe difficile da proporre. In questo caso sono studiati due fenomeni che si descrivono col modello esponenziale. Se invece le competenze matematiche dei ragazzi lo consentono, l'esperienza si presta ad essere utilizzata anche come esercitazione di studio di funzioni.

### II

#### Descrizione del fenomeno fisico

L'esperienza consiste nel misurare la variazione di tensione ai capi di un condensatore di capacità  $C$  inserito in un circuito con alimentazione in tensione continua  $\Delta V_A$  e resistenza  $R$ . Come è noto, a circuito chiuso, le armature del condensatore si caricano fino a che fra di esse non si stabilisce una differenza di potenziale (ddp) opposta a quella dell'alimentazione. A regime nel circuito non circola corrente, la ddp del condensatore è costante e sulle armature del condensatore si è depositata una carica totale  $Q = C \cdot \Delta V_A$ . In questa esperienza studiamo però le due fasi di carica e di scarica del condensatore.

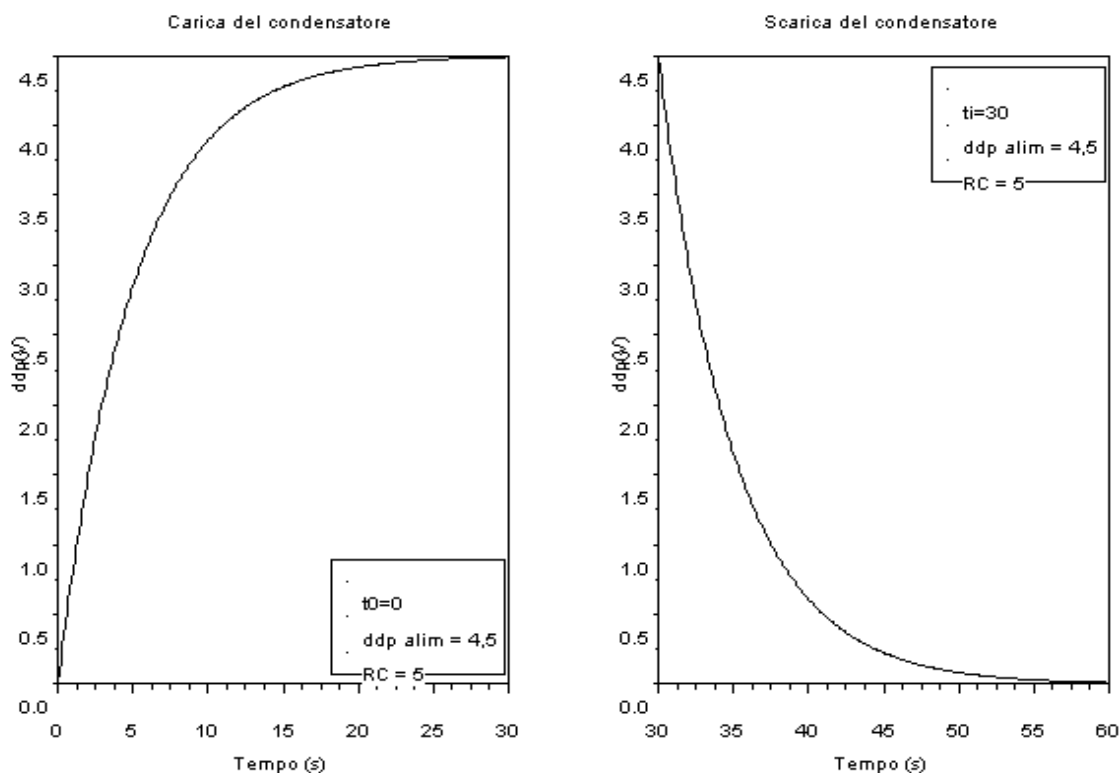
1. **Fase di carica:** il condensatore è inizialmente scarico, il circuito aperto; all'istante  $t_0 = 0$  il circuito viene chiuso, si stabilisce una corrente elettrica inizialmente pari a  $\Delta V_A/R$  via via decrescente, e la ddp ai capi del condensatore comincia ad aumentare. Il modello matematico prevede un comportamento esponenziale asintotico con un tempo caratteristico regolato dal prodotto dei valori  $RC$ , con legge di equazione:

$$\Delta V = \Delta V_A \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right]. \quad (\text{Eq.1})$$

2. **Fase di scarica:** una volta che il condensatore è carico si apre il circuito, si elimina l'alimentazione e si richiude il circuito all'istante  $t_i$ . Il condensatore si scarica con tempo di nuovo caratterizzato dal prodotto RC e con la legge di equazione:

$$\Delta V = \Delta V_A \exp\left(-\frac{t-t_i}{RC}\right). \quad (\text{Eq.2})$$

Le figure qui sotto mostrano i grafici che si ottengono dalle equazioni Eq.1 e Eq.2 e rappresentano l'andamento teorico del fenomeno.



### III

#### Prerequisiti e classi a cui è rivolta l'esperienza

L'esperienza è indicata per alunni della 5° classe delle Scuole Secondarie Superiori.

È necessario che gli studenti conoscano:

- i concetti base delle grandezze differenza di potenziale e corrente elettrica,
- gli strumenti e le modalità operative per misurare una differenza di potenziale.
- le caratteristiche generali di resistenza e capacità elettriche.
- l'equazione ed il grafico cartesiano della funzione esponenziale di base e delle funzioni che da essa si ottengono per trasformazioni affini.

### IV

#### Obiettivi generali

- Saper raffrontare le nozioni teoriche astratte con la loro realizzazione concreta in laboratorio, individuando i limiti di applicabilità delle prime e le soluzioni tecnologiche che la seconda comporta. In particolare:
  - Riconoscere gli elementi circuitali fondamentali in quanto oggetti concreti
  - Saper realizzare un circuito elettrico con resistenza, condensatore e batteria
- Approfondire il rapporto fra fenomeno fisico reale e modello fisico-matematico utilizzato per descriverlo, con particolare riguardo al modello esponenziale.

## V

### Obiettivi specifici

1. Ottenere il grafico della tensione ai capi di un condensatore nelle fasi di carica e di scarica del condensatore.
2. Ricavare dall'analisi del grafico il valore della costante di tempo del circuito RC.

## VI

### Materiali occorrenti

- 1 Resistenza di valore dell'ordine di  $10\text{ k}\Omega$
- 1 Condensatore di capacità dell'ordine di  $500\text{ }\mu\text{F}$
- 1 Batteria (per esempio una pila da  $4,5\text{ V}$ )
- CBL (fig. 1)
- Calcolatrice (fig. 2)
- Sonda di tensione (fig. 3): portata  $\pm 10\text{V}$ , sensibilità  $0,02\text{ V}$

### Foto dei vari materiali e del loro assemblaggio

fig. 1



fig. 2



fig. 3



fig. 4



fig. 5

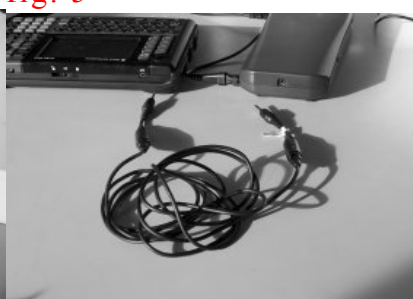


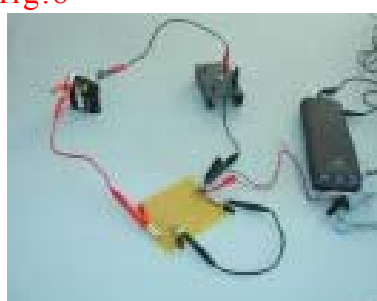
fig. 6



fig. 7



fig. 8



## VII Accorgimenti

1. Utilizzare una resistenza ed un condensatore tali che il prodotto RC sia dell'ordine di qualche secondo, non troppo piccolo da rendere impossibile seguire la carica nelle fasi iniziali, né troppo grande da richiedere un'attesa eccessiva perchè la carica raggiunga un valore ragionevolmente vicino al limite teorico.
2. Nella scelta del numero delle misure da acquisire e dell'intervallo di tempo  $\Delta t$  fra una misura e l'altra occorre tener presente che il  $\Delta t$  deve essere: 1) abbastanza piccolo da consentire di avere un numero adeguato di dati durante le fasi iniziali della carica e della scarica, quelle in cui l'evoluzione temporale è più rapida; 2) non troppo piccolo perché altrimenti la durata complessiva dell'acquisizione diventa inutilmente lunga e si rischia di raccogliere più dati di quanti ne possa immagazzinare la memoria della calcolatrice. Il modo di regolarsi è il seguente: noto  $T=RC$ , la durata complessiva può essere pari a alcune volte il valore di  $T$  (diciamo 6 volte) in modo da avere un quadro abbastanza completo dell'evoluzione del fenomeno, e l'intervallo può essere una frazione di  $T$  scelta in modo da avere alcune decine di misure in un tempo  $T$  (diciamo 50). Ovviamente sono numeri indicativi. Nel nostro caso  $T=5$  s, da cui  $\Delta t=0,1$  s.
3. Controllare che il valore  $\Delta V_A$  della ddp della batteria corrisponda a quello nominale. Nell'esempio riportato di seguito è un po' inferiore.
4. Attenzione che i condensatori elettrolitici, per ragioni costruttive, hanno una polarizzazione che va rispettata altrimenti vengono danneggiati

## VIII Allestimento della prova

Alimentate il CBL col suo trasformatore (fig. 4) o con le sue batterie. Collegate: il CBL alla calcolatrice tramite l'apposito cavetto (fig. 5); il sensore di tensione al canale CH1 del CBL (fig. 6). La fig. 7 mostra la configurazione finale dei collegamenti fra i dispositivi. Realizzare il circuito collegando in serie la resistenza ed il condensatore (fig. 8). I due puntali della sonda vanno collegati ai due capi del condensatore

## IX Esecuzione delle misure

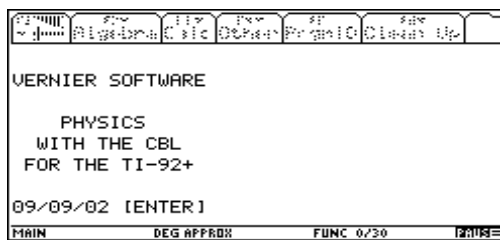
Al prompt della calcolatrice digitare physics() e premere <ENTER>



Dopo qualche secondo di apparente inattività (la scritta <BUSY> in basso a destra indica che la calcolatrice sta caricando il software) compare la schermata per la selezione del modello di calcolatrice: selezionare Ti92+ e premere <ENTER>



La schermata successiva dà informazioni sul software: premere <ENTER>



Compare il menù principale e la prima operazione da compiere è predisporre la sonda



Selezionare il numero (1)



Impostare la sonda di tensione



Procedere a collegare il sensore in CH1 del CBL qualora non fosse stato già fatto precedentemente



**NON** ricalibrare il sensore.



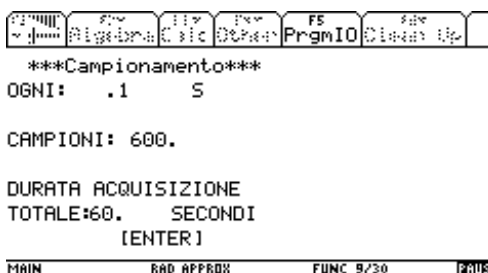
Ricompare il menù principale e si procede con l'acquisizione dei dati



In questo esperimento vogliamo gli andamenti in funzione del tempo delle grandezze fisiche: selezioniamo la modalità GRAFICO vs TEMPO.



Successivamente viene proposto di fissare l'intervallo di tempo fra le misurazioni ed il numero totale dei dati da acquisire. Questi valori vanno fissati sulla base di una stima preliminare del prodotto RC. Nel nostro caso  $RC = 5$  s e quindi è sufficiente misurare per 30 secondi (circa sei volte RC) la salita della tensione durante la fase di carica, e per successivi altri 30 la discesa nella fase di scarica. (vedi il punto 2 della sezione accorgimenti)



Se tutto è ok premere ENTER  
I dati possono essere visualizzati durante l'acquisizione. Se si sceglie questa opzione le schermate successive richiedono i valori minimo e massimo e la suddivisione della scala dell'asse delle ordinate.



Tipicamente la scala delle tensioni andrà dal valore minimo zero al valore della batteria (5V) con divisioni di 0,5.

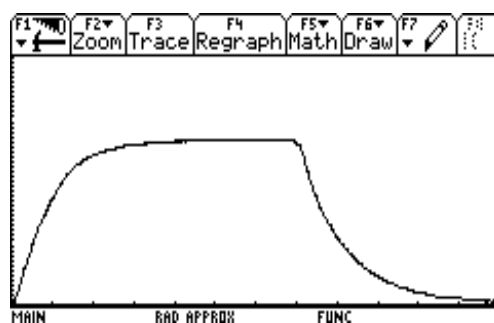
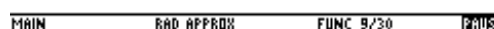
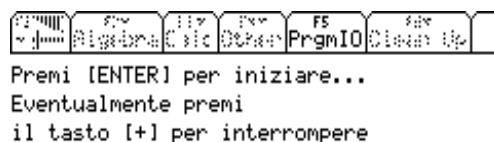
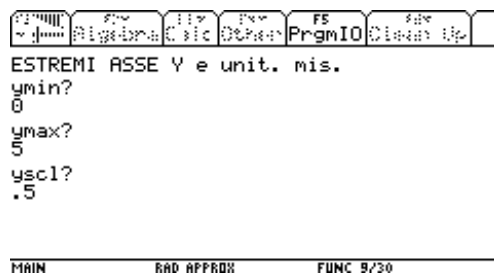
Se tutto è in ordine si procede all'esecuzione dell'esperimento.

A fianco è mostrato l'andamento della differenza di potenziale ai capi del condensatore sia durante la fase di carica sia durante quella, immediatamente successiva, di scarica.

Terminata l'acquisizione compare una schermata riassuntiva che informa che la prima colonna (L1) di dati è il tempo, la seconda (L2) la grandezza misurata dal sensore collegato al canale CH1 del CBL, nel nostro caso la tensione.

Con la schermata successiva si può selezionare la grandezza di cui visualizzare il grafico. Ovviamente nel nostro caso si tratta della grandezza ottenuta sul canale 1

Si riottiene il grafico delle curve di carica e di scarica già apparso durante l'acquisizione. Spostandosi col mouse lungo la curva si possono leggere i dati misurati e procedere alla loro elaborazione.



TYPE OR USE ←→+ [ENTER]=OK AND [ESCI]=CANCEL

## X Elaborazione dei dati

I dati possono essere letti direttamente dai grafici spostando il cursore col mouse, in questo modo si evitano operazioni che richiedono una maggiore familiarità con la calcolatrice e si sfrutta la leggibilità ed il carattere intuitivo dei grafici. In tal caso si può assumere come incertezza sulle misure la variazione che si ottiene spostandosi dalla posizione desiderata sul grafico a quella immediatamente vicina.

Dai grafici è possibile:

1. Leggere la ddp ai capi del condensatore carico  $\Delta V_M$  (da confrontare con la ddp di alimentazione al cui valore dovrebbe tendere asintoticamente)
2. individuare il punto del grafico che ha per ordinata il valore teorico  $\Delta V_* = \Delta V_M (1 - \frac{1}{e})$  (questo valore va calcolato a parte ed è il valore teorico all'istante  $T = RC$ )
3. risalire da  $\Delta V_*$  all'istante di tempo corrispondente  $t_*$  (da confrontare con il valore  $T = RC$ )
4. l'istante di inizio della fase di scarica  $t_i$
5. il valore della ddp all'inizio della scarica  $\Delta V_i$  (circa pari a  $\Delta V_M$ )
6. il punto del grafico di ordinata  $\Delta V_{**} = 1/e \Delta V_i$ , nel tratto di curva che corrisponde alla fase di scarica, e da questo il  $t_{**}$  corrispondente
7.  $\Delta t_{**} = t_{**} - t_i$  da cui ancora  $T = RC$

Riportiamo a titolo di esempio i dati relativi al caso che compare nelle figure precedenti.

**Tabella 1: valori di riferimento**

Resistenza elettrica	$R = 10 \text{ k}\Omega \pm 5\%$
Capacità	$C = 500 \text{ }\mu\text{F} \pm 15\%$
ddp di alimentazione	$\Delta V = (3,35 \pm 0,01)\text{V}$
Tempo caratteristico RC	$T = (5 \pm 1) \text{ s}$

**Tabella 2: valori caratteristici (è sottintesa l'incertezza di una unità sull'ultima cifra)**

$\Delta V_M$ (V)	$\Delta V_*$ (V)	$t_*$ (s)	$t_i$ (s)	$\Delta V_i$ (V)	$\Delta V_{**}$ (V)	$t_{**}$ (s)	$\Delta t_{**}$ (s)
3,33	2,09	4,8	34,7	3,33	1,21	40,7	6,0

Entro l'incertezza del 20% le leggi sono verificate.

## XI Conclusioni (confronto tra risultati ottenuti e aspettati)

(in blue, grassetto e sottolineato le risposte attese)

- a) Quali elementi devi prendere in considerazione per decidere se il modello teorico è applicabile ai dati da te ottenuti?

**Il grafico dei dati con quello combinato delle funzioni Eq.1 e Eq.2, almeno per gli aspetti qualitativi (numero degli zeri, degli eventuali massimi e minimi, dei tratti crescenti o decrescenti delle due funzioni). I valori dei parametri:  $\Delta V_M$  con  $\Delta V_A$ , T con  $t_*$  e  $\Delta t_{**}$ .**

- b) Confronta qualitativamente il grafico dei dati sperimentali che hai ottenuto con i due grafici combinati insieme di Eq.1 e Eq.2.



Ci si aspetta che siano confrontati gli aspetti caratteristici dei due grafici. La precisione e la quantità degli elementi messi a confronto (zeri, asintoti, flessi concavità, tratti di monotonia, discontinuità della derivata) dipende dallo stato di progresso del programma di Matematica effettivamente svolto dai ragazzi.

c) Confronta i valori di  $T$ ,  $t_*$  e  $\Delta t_{**}$

Affermare se sono o no consistenti, considerando appropriatamente le rispettive incertezze

d) Confronta i valori di  $\Delta V_A$  e  $\Delta V_M$

Affermare se sono o no consistenti, considerando appropriatamente le rispettive incertezze

e) In definitiva, i risultati da te ottenuti corrispondono a quelli aspettati sulla base di Eq.1 e Eq.2? Giustifica la tua risposta.

Sì o no, sulla base del confronto di tutti e tre gli elementi sopra considerati

f) Se hai ottenuto risultati del tutto inaspettati, indica qual è stato, secondo te, il problema e quali accorgimenti prenderesti nel caso tu ripetessi da capo l'esperimento.

Da valutare quanto risultino pertinenti e puntuali, ovvero non generici, i tentativi di individuare il problema e la sua soluzione. Non necessariamente deve essere la risposta giusta. Basta che sia una proposta ragionevole che segua dall'analisi di ciò che è realmente avvenuto e non una soluzione astratta o non argomentata.

## XII Questionario di verifica

1. Considera la funzione matematica così definita: 
$$y = \begin{cases} a \cdot (1 - e^{-bx}) & \text{se } 0 < x < x_* \\ a \cdot e^{-b(x-x_*)} & \text{se } x > x_* \end{cases}$$

Essa è equivalente all'insieme delle equazioni date in Eq.1 e Eq.2 se fra i simboli utilizzati vale la seguente corrispondenza (completa la tabella)

y	x	$x_*$	a	b	e
$\Delta V$	t	$t_i$	$\Delta V_M$	<b>RC</b>	<b>e</b>

2. Data la funzione definita alla domanda precedente, quali valori numerici devono avere a, b e  $x_*$  perché l'equazione corrisponda al grafico dei dati sperimentali?

Utilizzando i dati della scheda studenti le risposte attese sarebbero:

$$a = \dots 4,5 \dots ; b = \dots 0,2 \dots ; x_* = \dots 30 \dots$$

3. Se sostituissi solo la resistenza da 10 k $\Omega$  con una da 5 k $\Omega$  cosa accadrebbe:

I. Alla ddp massima del condensatore  $\Delta V_M$ ?

Resterebbe uguale. Il valore asintotico viene raggiunto in un tempo minore, ma resta uguale alla ddp di alimentazione.

II. Alla capacità del condensatore C?

Resterebbe uguale. È un parametro indipendente (a meno di non voler considerare gli effetti capacitivi alle connessioni della resistenza, ma non ci sono elementi per farlo).

- III. Alla costante di tempo caratteristica  $T$ ?  
Si dimezzerebbe.
- IV. All'intensità di corrente  $I$ ?  
Sarebbe in generale maggiore per la minor resistenza. Quella iniziale, pari a  $\Delta V_A/R$  raddoppierebbe.
- V. Alla carica finale  $Q$ ?  
Resterebbe uguale perché dipende solo dalla capacità del condensatore e dalla ddp di alimentazione, purché il processo sia sufficientemente lungo.
4. Se sostituissi solo la ddp di alimentazione da 4,5 V con una da 9 V cosa accadrebbe:
- I. Alla ddp massima del condensatore  $\Delta V_M$ ?  
Diventerebbe anch'essa 9 V.
- II. Alla capacità del condensatore  $C$ ?  
Resterebbe uguale.
- III. Alla costante di tempo caratteristica  $T$ ?  
Resterebbe uguale, dipende solo dai valori di  $R$  e di  $C$ .
- IV. All'intensità di corrente  $I$ ?  
Sarebbe in generale maggiore. Quella iniziale, pari a  $\Delta V_A/R$  raddoppierebbe.
- V. Alla carica finale  $Q$ ?  
Raddoppierebbe poiché  $Q = C \cdot \Delta V_A$
5. Se sostituissi la capacità di 500  $\mu\text{F}$  con una di 50 pF, che valore dovrebbe avere la resistenza in modo tale che la costante di tempo caratteristica restasse invariata?
- I.  $R = 10^{11} \Omega$
6. Se dovessi utilizzare una capacità più grande lasciando invariati gli altri parametri, che modifiche ti aspetteresti alla curva dei dati sperimentali?  
Aumentando  $C$  aumenta il tempo caratteristico  $T = RC$ . Mi aspetterei una curva con una salita nella fase di carica ed una discesa in quella di scarica meno ripide. La nuova curva giacerebbe al di sotto di quella vecchia, tranne che all'istante  $t_0=0$  e nel tratto in cui viene raggiunta la ddp massima che non dipende dalla capacità, ma solo dalla ddp di alimentazione. Se il nuovo valore di  $C$  fosse molto più grande del precedente potrebbe succedere che, lasciando invariata la durata della fase di acquisizione dei dati, il condensatore non si carichi completamente e quindi la ddp non raggiungerebbe il valore massimo possibile.

## GRIGLIA PER LA VALUTAZIONE DELL'ATTIVITA' DI LABORATORIO

Gruppo:

Argomento:

Data:

VALUTAZIONE		N	I	S	B	O	Voto
		0	2	3	4	5	
<b>Attività del gruppo</b>							
	Ripartizione dei compiti efficace. Interazione interna costruttiva. Autonomia.						
	Precauzione nell'utilizzo del materiale						
<b>Relazione</b>							
	Completa (tabelle, eventuali grafici, conclusioni, incertezze sui dati)						
	Unità di misura, calcoli e grafici, cifre significative, notazione scientifica, corretti.						
<b>Conclusioni</b>							
	Conformi a quelle aspettate.						
	Coerenti con le misure ed argomentate. Individuati problemi ed accorgimenti.						
<b>Questionario</b>							
	Percentuale di risposte corrette.						
	Risposte chiare e complete.						
<b>Voto finale</b>							

### LEGENDA

- N Nulla
- I Insufficiente
- S Sufficiente
- B Buono
- O Ottimo

### NOTA PER LA COMPILAZIONE

I parametri da valutare sono raccolti in 4 gruppi omogenei. Ogni gruppo va valutato da 0 a 10. È possibile valutare separatamente i singoli parametri in modo tale che il totale del gruppo vada da 0 a 10. Il voto finale è la media dei voti dei gruppi di parametri.

### XIII Bibliografia e sitografia

Sui sistemi Real Time Laboratory (RTL), in particolare con un sistema: sensore-CBL-calcolatrice grafica

- ❑ G. Marucci, L. Catalano, V. Filippeschi e H. Coombat (a cura di), “Le calcolatrici grafiche ed i CBL nel laboratorio di Fisica”, *Quaderno del Ministero Pubblica Istruzione* in collaborazione con la Texas Instruments, Pitagora Editrice, Bologna 1998.
- ❑ M. Impedovo, “Matematica: insegnamento e computer algebra”, *Springer – Verlag Italia*, Milano 1999.
- ❑ J. Gastineau, K. Appel, C. Bakken, R. Sorensen, D. Vernier, “Physics with Calculators”, *Vernier Software & Technology*, Beaverton (Oregon, USA) 2000.
- ❑ B. Pecori, G. Torzo, G. Pezzi, O. Foà, A. Rambelli, M. Rafanelli, M. R. Rizzo, “L’ online ‘portabile’ nell’insegnamento della fisica”, *Atti del XXXVIII Congresso Nazionale AIF Ferrara*, 1999, *La Fisica nella scuola - Supplemento*, gennaio – marzo 2001.
- ❑ AAVV, “Tecnologie informatiche nel laboratorio didattico”, *Atti del XL Congresso Nazionale AIF*, Senigallia, 2001, *La Fisica nella scuola – Supplemento*, aprile-giugno 2003.
  
- ❑ [www.cartesionline.it](http://www.cartesionline.it), materiale didattico per l’insegnamento della matematica, della fisica e delle scienze.
- ❑ [www.adt.it](http://www.adt.it), Associazione per la Didattica con le Tecnologie (ADT)
- ❑ [www.t3ww.org](http://www.t3ww.org), Teachers Teaching with Technology, associazione internazionale di cui ADT è membro (in inglese).
- ❑ <http://www.fisica.uniud.it/irdis/index.htm>, IRDIS è un progetto finanziato nell’ambito della legge 10.01.2000 n.6 (Iniziative per la diffusione della cultura scientifica), finalizzato al potenziamento e ottimizzazione delle attività sperimentali nella didattica delle scienze con l’uso delle nuove tecnologie.