



# Il condensatore e il fotoresistore

**L**a ruota completa di copertone e il supporto per il servomotore allegati a questo fascicolo ti permetteranno di proseguire e completare le fasi di montaggio del nuovo sistema di locomozione del robot. Come sai, però, è necessario aspettare il secondo servomotore e, dunque, il prossimo fascicolo.

## SULLA BREADBOARD

Ci occuperemo ora del funzionamento e dell'utilizzo dei fotoresistori (visti a pag. 73) come sensori a bordo del tuo robot. A differenza di altri componenti che ti sono stati forniti, come i baffi e i sensori a infrarossi, i fotoresistori (ma anche i LED e il sensore di temperatura) non sono di tipo *Plug&Play* (letteralmente "Connetti e Accendi"): perché funzionino, non è sufficiente

inserirli negli appositi alloggiamenti, è invece necessario un apposito circuito implementato sulla breadboard.

Dunque, solo con un particolare circuito che impiega fotoresistori e altri componenti riusciremo a fare in modo che il robot 'veda' la luce. Per comprendere il funzionamento e la modalità di utilizzo di tale circuito bisogna però sapere come funziona un altro componente elettrico fondamentale: il condensatore (anche detto capacitore).

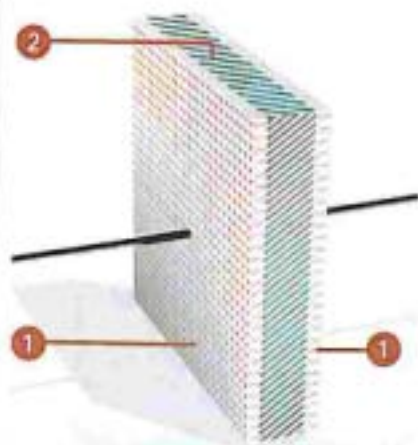
## IL CONDENSATORE

Come abbiamo già avuto modo di vedere (nella sezione Tecno, a pag. 27), il condensatore è un componente in grado di immagazzinare una certa quantità di carica elettrica, per restituirla poi, in seguito alle variazioni dello stato del circuito, a quest'ultimo. I condensatori possono essere anche molto diversi tra loro per forma, materiale, caratteristiche elettriche e dimensioni, ma



Sopra. Gli allegati a questo fascicolo: una ruota in plastica 1 con il copertone in gomma piena 2 e il supporto 3 per il secondo servomotore.

si compongono sempre di una coppia di conduttori (cosiddetti "armature") separati da un materiale isolante (come carta, mica, ceramica ecc.). Quelli che ti sono stati forniti insieme ai fotoresistori, ad esempio, sono a forma di parallelepipedo e hanno per isolante la ceramica; i condensatori di cui è dotata la tua scheda madre, invece, sono cilindrici. In un circuito, però, il simbolo grafico del condensatore (pur presentando due varianti) è uguale per tutti.



A sinistra. Schema strutturale di un condensatore: si riconoscono le armature 1 e l'isolante 2 che le separa.

A destra. Condensatori cilindrici sulla scheda madre (cerchiati in bianco).



● A destra. Il simbolo circuitale del condensatore nella versione aggiornata (sopra) e in quella 'classica' (sotto), comunque equivalenti.

## LA CAPACITÀ

Quello che caratterizza un condensatore è la sua capacità (C), ossia la sua attitudine a immagazzinare cariche elettriche. **In particolare, per qualunque condensatore vale la relazione per cui la quantità di carica accumulata (Q) è data dal prodotto della capacità (C) per la tensione (V) tra le due armature (cioè  $Q=C \cdot V$ ).** L'unità di misura della carica elettrica, nel Sistema Internazionale, è il coulomb [C] (per convenzione, le unità di misura in quanto tali si scrivono tra parentesi quadre). Facendo un'analogia con l'idraulica, è possibile paragonare un condensatore a un recipiente che si riempie d'acqua: se il recipiente (condensatore) è molto largo (ha cioè una grande capacità), grandi quantità d'acqua (carica) provocheranno variazioni minime del suo livello (tensione) e viceversa. L'unità di misura della capacità elettrica di un condensatore è il farad [F]: un condensatore ha una capacità di 1 F se con una carica di 1 C assume una tensione di 1 V. La capacità di 1 F, però, è enorme e, quindi, scomoda quando si abbia a che fare con cariche molto piccole (quella di un elettrone, ad esempio, è dell'ordine di  $10^{-19}$  C), di solito, quindi, si usano i sottomultipli del farad, come il milli- (m,  $10^{-3}$ ), micro- ( $\mu$ ,  $10^{-6}$ ), nano- (n,  $10^{-9}$ ) e pico- (p,  $10^{-12}$ ) farad.

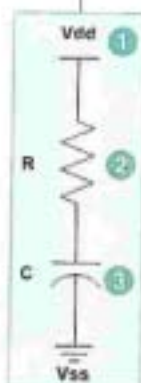


## CIRCUITO DI CARICA

Per capire come si comporta il condensatore, vediamo il circuito di carica (sotto).

Per semplicità, supponiamo che inizialmente il generatore di tensione ● sia spento e il condensatore ● sia scarico: dal momento

che non contiene cariche, la tensione ai suoi capi è nulla. Dopo aver acceso il generatore (o, che è lo stesso, chiuso il circuito su Vdd), possiamo verificare che la ddp ai capi del condensatore, misurata con un tensiometro, è uguale a quella del generatore. Questo dipende dal fatto che **il condensatore, impedendo con l'isolante il passaggio di corrente tra le sue armature, è di fatto assimilabile a un circuito aperto.** Se dunque nel circuito non scorre alcuna corrente, i capi del resistore ● sono alla stessa tensione (è quindi assimilabile a un corto circuito): il generatore e il condensatore, invece, sono in parallelo. In verità, a questa situazione di equilibrio si giunge solo dopo alcuni istanti. Di fatto, non appena si accende il generatore, le cariche elettriche fluiscono nel circuito (generando una corrente) e giungono alla prima armatura del condensatore, dove, arrestate, si accumulano.



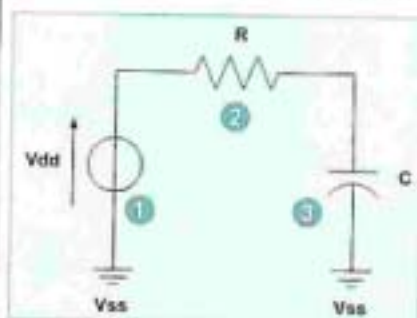
● A sinistra. Il circuito di carica di un condensatore ● soggetto, tramite un resistore ●, alla tensione Vdd ●. Questo 'stile' di rappresentazione, tipico dell'elettronica, evidenzia il rapporto (in questo caso lineare) tra i vari componenti.

● A destra. Lo stesso circuito, in una schematizzazione che rimanda 'spazialmente' al circuito fisico.

In questo modo, si crea una diversa concentrazione di cariche sulle due armature, la quale genera una tensione via via crescente fino all'equilibrio, cioè allo stesso valore di tensione imposto dal generatore (Vdd). Riprendendo il parallelo idraulico, è come se il generatore fosse una pompa che attinge acqua da un proprio serbatoio, pieno fino a un certo livello: nel momento in cui la pompa (generatore) viene accesa, comincia a immettere acqua (cariche) nel circuito; se l'acqua incontra un recipiente (condensatore), però, invece di proseguire e tornare alla pompa, si riversa nel recipiente, accumulandosi fino al raggiungimento dello stesso livello che, prima, era nel serbatoio della pompa. Seppure breve, dunque, c'è un intervallo di tempo (il cosiddetto 'transitorio') durante il quale si ha un passaggio di corrente e la tensione del condensatore aumenta fino a una condizione di equilibrio. Solo allora nel circuito non passa più corrente.

## TEMPISTICA

Sperimentalmente è possibile verificare che **il transitorio (quindi il tempo necessario perché il condensatore possa essere considerato carico) è proporzionale**





## L'UNITÀ DI MISURA DELLA COSTANTE DI TEMPO


L'unità di misura della costante di tempo  $\tau$ , che si ottiene moltiplicando una resistenza per una capacità ( $R \cdot C$ ), è il **secondo**. Vediamo perché. Il valore di resistenza  $R$  si misura in ohm [ $\Omega$ ] e, dalla legge di Ohm, sappiamo che  $R=V/I$ , dove la tensione  $V$  si misura in volt [ $V$ ] e l'intensità di corrente  $I$  si misura in ampere [ $A$ ]. Quindi l'ohm è dato dal rapporto tra volt e ampere: [ $\Omega$ ] = [ $V$ ]/[ $A$ ]<sup>-1</sup>. Per quanto riguarda l'intensità di corrente  $I$ , inoltre, esiste la relazione per cui in un filo scorre una corrente di 1 A quando in un secondo passa una carica di 1 C: quindi  $I=C/s$ . Riprendendo il paragone idraulico, l'intensità di corrente corrisponde alla portata del liquido che scorre nel tubo (ad esempio, litri al secondo). In base a questa relazione, dunque, possiamo scrivere [ $A$ ] = [ $C$ ]/[ $s$ ]<sup>-1</sup>. Tornando all'ohm, si ottiene [ $\Omega$ ] = [ $V$ ] \* [ $C$ ]<sup>-1</sup> \* [ $s$ ]. Il valore di una capacità  $C$ , invece, si misura in farad [ $F$ ]; la relazione del condensatore  $Q=C \cdot V$ , dove  $Q$  è la carica misurata in coulomb [ $C$ ] e  $V$  è la tensione misurata in volt [ $V$ ], può essere scritta anche come  $C=Q/V$ : di qui si ricava che [ $F$ ] = [ $C$ ]/[ $V$ ]<sup>-1</sup>. Se ora consideriamo la costante di tempo  $\tau$ , il prodotto  $R \cdot C$  ha come unità di misura il prodotto delle loro unità di misura: dunque [ $\Omega$ ] \* [ $F$ ], cioè ([ $V$ ] \* [ $C$ ]<sup>-1</sup> \* [ $s$ ]) \* ([ $C$ ] \* [ $V$ ]<sup>-1</sup>). Semplificando infine i termini [ $V$ ] e [ $V$ ]<sup>-1</sup>, [ $C$ ] e [ $C$ ]<sup>-1</sup>, rimane [ $\Omega$ ] \* [ $F$ ] = [ $s$ ].

**al prodotto della resistenza e della capacità ( $R \cdot C$ ):** tale valore, detto 'costante di tempo' di un circuito RC (cioè contenente un Resistore e un Condensatore), viene indicata con la lettera greca  $\tau$  (tau). Generalmente **si assume che il transitorio equivalga a un periodo di tempo pari a circa 4-5 volte la costante di tempo  $\tau$** . Dopo un periodo di tempo pari a una sola costante di tempo  $\tau$  (quindi ancora compreso nel transitorio), invece, il condensatore è carico per circa il 63%. Ad esempio, se nel circuito precedente la tensione imposta dal generatore fosse di 5 volt ( $V_{dd}=5$  V), la resistenza di 1000  $\Omega$  ( $R=1$  k $\Omega$ ) e la capacità del condensatore di 1 micro-farad ( $C=1$   $\mu$ F), la costante di tempo  $\tau=R \cdot C$  sarebbe pari a 1 millisecondo (1 k $\Omega$  \* 1  $\mu$ F = 1 ms, come puoi verificare nel box in questa pagina). Approssimando il transitorio a 5 volte la costante di tempo  $\tau$ , esso può essere considerato esaurito dopo 5 millisecondi (5 \* 1 ms): solo allora il condensatore sarà carico al 100%, con una tensione ai suoi capi pari alla  $V_{dd}$  (5 V). Dopo un intervallo di tempo pari alla costante di tempo  $\tau$  (ancora nel transitorio), invece, il condensatore, carico al 63%, avrà una tensione di soli 3,15 V (5 V \* 0.63).

**Il transitorio è l'intervallo di tempo necessario per caricare o scaricare del tutto un condensatore**

### CIRCUITO DI SCARICA

Ipotizziamo ora di spegnere il generatore (o, che è lo stesso, di sostituirlo con un corto circuito) al termine del transitorio, cioè con il condensatore carico. Così facendo, si realizza il circuito

di scarica del condensatore attraverso il resistore .

**Il condensatore, infatti, rilascia nel circuito la carica immagazzinata precedentemente, generando una corrente che fluisce nel resistore.**

La tensione ai capi del condensatore comincerà quindi a diminuire (come la carica in esso contenuta) fino al valore di massa ( $V_{ss}=0$ ), al quale il condensatore risulterà scarico. Anche in questo caso occorre un

intervallo di tempo (il transitorio) perché la tensione del condensatore passi da  $V_{dd}$  a massa.

**Come per il processo di carica, anche per quello di scarica**

**valgono le stesse considerazioni, a partire dal fatto che il transitorio è proporzionale alla costante di tempo  $\tau$  data dal prodotto  $R \cdot C$ .**

Per quanto riguarda il valore della tensione ai capi del condensatore dopo un tempo pari a  $\tau$ , però, il condensatore si sarà scaricato per il 63% del valore iniziale e, quindi, avrà una tensione pari al 37% di quella iniziale. Riprendendo il parallelo idraulico, una volta spenta la pompa (generatore), è comunque possibile ottenere

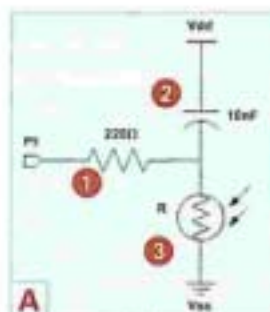
un flusso d'acqua (carica) sfruttando la riserva accumulata nel recipiente (condensatore). Il tempo necessario perché il recipiente si svuoti, ovviamente, dipende dalla quantità d'acqua accumulata (quindi dalla capacità) e dalle dimensioni del tubo (resistenza) in cui passa l'acqua (corrente elettrica) che defluisce dal recipiente.

### I FOTORESISTORI

Se riprendiamo ora il circuito riguardante i fotoresistori (già visto a pag. 75 e riprodotto in parte nella prossima), ci accorgiamo che si tratta di un circuito RC: **il fotoresistore, infatti, non è altro che un resistore a resistenza variabile (inversamente proporzionale all'intensità della luce).**

Come vedremo in seguito, per dotare il robot di sensori in grado di rilevare le variazioni di luce, bisognerà implementare questo circuito sulla breadboard. Solo così, infatti, grazie a un particolare comando PBASIC (**rcptime**), sarà possibile calcolare la costante di tempo  $\tau$  necessaria per 'quantificare' le variazioni dell'intensità di luce e, quindi, programmare il robot perché reagisca di conseguenza.

● Negli schemi. Il circuito RC collegato alla porta P9 tramite un resistore ①; si compone di un condensatore ② e di un fotore resistore ③ collegati a Vdd e a Vss. Si comporta diversamente, a seconda del settaggio (output; input) della porta.



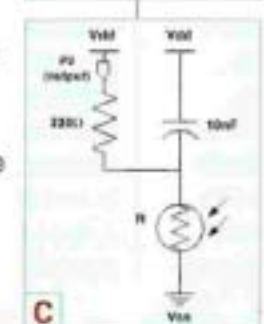
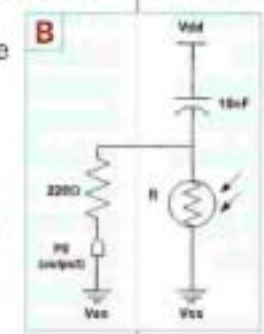
### CIRCUITO 'DOUBLE FACE'

Consideriamo il circuito (schema A, sopra) relativo alla porta P9 (ma lo stesso vale per P10). Inizialmente, supponiamo che il valore di resistenza (incognito) R del fotore resistore ③ sia costante.

Utilizziamo dapprima la porta P9 come output: se la impostiamo al valore logico basso (0), nel circuito varrà come la massa (Vss). In tal caso (schema B), la resistenza R e quella da 220 Ω risultano in parallelo (stessa ddp ai capi): poiché (come detto a pag. 92) il parallelo di due resistenze di ordini di grandezza molto diversi è approssimabile con quella minore, e poiché sappiamo dalle specifiche del produttore che R, per quanto incognita, è però dell'ordine dei kΩ, possiamo approssimare il parallelo con la resistenza da 220 Ω.

Otteniamo così un circuito RC simile a quello visto per la carica del condensatore, ove la tensione Vdd è quella erogata dal generatore.

In particolare, il condensatore da 10 nF si carica alla tensione Vdd in un tempo pari a circa 5 volte la costante di tempo  $\tau$  data da  $R \cdot C$  e, dunque, pari a 2.2 ms ( $220 \Omega \cdot 10 \text{ nF}$ ).



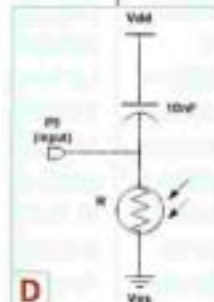
Se impostiamo ora P9 (sempre settata come output) al valore logico alto (1), essa si comporterà come un generatore avente una tensione Vdd. In tal caso (schema C), dopo un breve intervallo di tempo

(transitorio), le due armature del condensatore si troveranno, in prima approssimazione, allo stesso potenziale (Vdd): la tensione ai capi del condensatore sarà dunque nulla e lo si potrà considerare scarico.

### COME LETTORE

Se ora settiamo la porta P9 come input (schema D), cioè solo come un 'lettore' di tensione, ci accorgiamo che il suo valore logico dipende dalla tensione applicata all'armatura inferiore del condensatore

a cui è collegata (la resistenza da 220 Ω è trascurabile): se tale tensione è Vdd (ad esempio, pari a 5 V), la porta 'leggerà' un valore logico alto; se la tensione è a massa, uno basso. Per i valori di tensione intermedi invece, in base alle specifiche costruttive, il valore logico sarà alto o basso a seconda che sia superiore o inferiore a 1.5 V (valore cosiddetto 'tensione di soglia'). Poiché la porta P9 settata come input non impone più alcun valore di tensione all'armatura inferiore del condensatore, pur essendo di nuovo



in presenza di un circuito di carica, ora il condensatore tenderà a caricarsi attraverso il fotore resistore (e dunque la resistenza R, non più quella da 220 Ω), con una  $\tau$  pari a  $R \cdot 10 \text{ nF}$ . Dato che la tensione sull'armatura superiore è imposta dal generatore ( $V_{dd}=5 \text{ V}$ ), durante il processo di carica è l'armatura inferiore del condensatore che deve diminuire il proprio potenziale, fino a massa ( $V_{ss}=0$ ): terminata la carica, ai capi del condensatore c'è una tensione  $V_{dd}-V_{ss}=V_{dd}$ . Dal momento

che P9 'legge' la tensione sull'armatura inferiore, il suo valore logico passerà da alto, quale era, a basso (0); e tale passaggio (la 'commutazione') avverrà non appena la tensione dell'armatura inferiore scenderà

sotto la soglia di 1.5 V; a quel punto, si misura una tensione di 3.5 V (data dalla ddp tra le due armature, cioè  $5-1.5 \text{ V}$ ) ai capi del condensatore, che è dunque carico per il 70% ( $3.5/5$ ). Ricordando quanto detto sulla costante di tempo ( $\tau=R \cdot C$ ), ecco che, misurando il tempo impiegato dall'armatura inferiore per portarsi da 5 V a 1.5 V, otteniamo una misura di  $\tau$ : per quanto approssimata, insieme alla capacità nota e costante del condensatore (10 nF), può fornirci l'indicazione che cercavamo (R= $\tau/C$ ), permettendoci così di quantificare le variazioni dell'intensità di luce che colpisce il fotore resistore.