

Interfacciamento dei processori

Sesta Parte: Perché usare il transistor ...

PREMESSA

Nella **prima puntata** ci siamo occupati delle interfacce d'uscita per un dato a 8 bit e abbiamo concluso che qualunque dispositivo programmabile (*microcontrollore* o *personal computer*) dispone *intrinsecamente* di almeno **almeno una porta** in grado di assicurare questo servizio

Nella **seconda puntata** abbiamo studiato le caratteristiche elettriche tipiche di una porta d'uscita, analizzando le specifiche di quelle **TTL compatibili** (per altro le più diffuse) e proponendo una tecnica d'*analisi elettronica* facilmente generalizzabile anche per eventuali altre tecnologie. Abbiamo affrontato il concetto di **carico**, e proposto i primi due schemi d'interfaccia, uno con l'utilizzo dei **buffer di corrente non invertenti 74LS244** e uno con l'impiego delle **memorie esterne a 8 bit 74LS374** (*batterie di 8 flip-flop D-Type in parallelo*).

Nella **terza puntata** abbiamo affrontato la necessità di disporre di periferiche adatte ad esprimere l'informazione, presentando la **batteria di 8 led** e i **digit a sette segmenti** nelle sue due forme funzionali alternative (a *catodo* e a *anodo comune*); per entrambe è stata introdotta la **Tabella di associazione logica**, una struttura indispensabile per facilitare la creazione del codice di gestione.

Nella **quarta puntata** abbiamo descritto le caratteristiche delle prime **interfacce** basate sulla presenza di *dispositivi* in grado di tradurre un **Codice BCD**, fornito loro in ingresso, nei segnali necessari per accendere con sufficiente gradimento i segmenti di periferiche costituite da due digit (a *catodo* o ad *anodo comune*); in particolare abbiamo progettato le prime strutture, basate sulla presenza di **Decoder TTL da BCD a sette segmenti**, tipicamente il **74LS47** e il **74LS48**, affrontando e risolvendo anche il problema di evitare di accendere gli eventuali zero a sinistra o a destra del numero proposto sul visualizzatore.

Nella **quinta puntata** abbiamo descritto le caratteristiche delle **interfacce** di visualizzazione basate su *dispositivi dotati di memoria* in grado di tradurre i codici forniti loro in ingresso, nei segnali necessari per gestire periferiche costituite da due digit (a *catodo comune*); in particolare abbiamo progettato le strutture basate sul **Decoder CMOS 4511 da BCD a sette segmenti** e sul **Decoder TTL 9368 da Binario puro a sette segmenti**, affrontando e risolvendo anche il problema di gestione dello stato di memoria e degli eventuali *zero a sinistra* o a *destra* del numero proposto sul visualizzatore.

CONSIDERAZIONI DI PROGETTO CON USO DI TRANSISTOR

Il problema da risolvere è ormai ben noto: garantire la *corrente* e la *tensione* necessaria a ciascuna *periferica* per il suo corretto funzionamento **evitando** al tempo stesso che le linee delle *porte d'uscita* del *microcontrollore* o della *porta parallela* del *personal computer*, chiamate ad esercitare questo servizio, siano obbligate ad **erogare corrente** in misura eccessiva.

Per questo scopo abbiamo imparato ad interporre uno strato di **interfaccia**, per esempio con componenti integrati come il **74LS244**, più volte citato e capace, tipicamente, di **erogare 15 mA** con uscita a "1" e di **assorbire 24 mA** con uscita a "0".

In taluni frequenti casi il coinvolgimento di un integrato può sembrare esagerato..; ciascuna *linea* (non adatta ad **erogare corrente**) può essere confortata, per questo compito, dalla presenza di un semplice **transistor** (a *giunzione bipolare*, spesso citato come **BJT**, Bipolar Junction Transistor).

La storia di questo componente ha origini lontane e il suo nome lascia trasparire la sua natura, legata alla *struttura fisica* del materiale con cui è fatto; molto frequentemente questa parte (obiettivamente impegnativa) viene trattata dai *soloni della didattica* con grande proprietà di termini e concetti, per lo più inarrivabili per molti dei loro teneri uditori.

Che cos'è un TRANSISTOR

Certamente la *teoria del transistor* è una cosa da affrontare, prima o poi; poiché l'obiettivo è quello di **utilizzarlo** (!) non è strettamente necessario *saper come è fatto*, così come sembra inutile mettere a dura prova il nostro equilibrio intellettuale *spingendo a fondo* le teorie sulla sua *natura fisica*: spesso è sufficiente *sapere come utilizzarlo*...

Ma se così facessi sarei incoerente con il mio modo di vedere le cose e lascerei ancora aperte delle legittime curiosità; per questo cercherò comunque di raccontare questa fiaba, cercando di rendere i concetti essenziali senza intimorire, mantenendo un livello descrittivo accessibile.

Partiamo dai **concetti di base**, espressi nei punti seguenti:

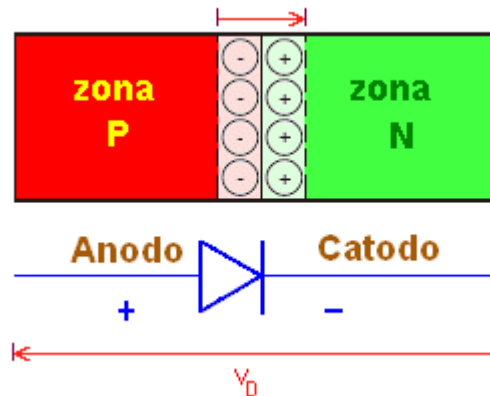
- gli elementi chimici hanno una *struttura atomica elettricamente neutra* costituita da un pesante nucleo centrale (chiamato da ospitare i **neutroni** e le *cariche positive* (i **protoni**) e da una quantità **uguale** di *cariche negative* (gli **elettroni**) in gran parte saldamente legati su una o più orbite tracciate intorno al nucleo
- la **conducibilità** di un elemento è legata al numero di elettroni (da 1 a 8) posti sull'orbita più esterna: gli elementi con grande numero di elettroni esterni sono *buoni isolanti* mentre i *metalli*, con 1 (*oro, argento, rame*) o 2 elettroni esterni, sono *eccellenti conduttori*; .. per il fatto che si prestano, se sottoposti a *campo elettrico*, a perderli facilmente, producendo *cariche libere*
- la creazione della *corrente elettrica* è dovuta al movimento di questi *elettroni liberi* nella direzione imposta dal campo applicato; per convenzione *il verso della corrente* è opposto a quello degli *elettroni*
- i *semiconduttori* (come *silicio* e *germanio*) dispongono di **4 elettroni** esterni e per questo (dato che ogni *coppia* di atomi *riempie* l'orbita esterna) offrono una struttura cristallina molto stabile, priva di *cariche libere* e quindi tipica di un *isolante*; la differenza sta nel fatto che questi legami sono piuttosto fragili e possono essere *rotti* con bassa energia, per esempio con un moderato effetto termico
- la rottura del legame *libera* di fatto alcuni elettroni rendendoli disponibili come *cariche negative* per la creazione di corrente; va per altro sottolineato che la quantità di *elettroni liberi* (dovuti alla temperatura) è molto bassa, di gran lunga inferiore a quella di un *metallo*, per cui è ragionevole catalogare questi elementi come *cattivi isolanti*, o *semiconduttori*
- la **conducibilità** intrinseca di un *semiconduttore*, legata come detto a fenomeni termici, è decisamente insufficiente per gli scopi elettronici; per questa ragione essa viene aumentata con la tecnica nota come *drogaggio*, aggiungendo alla sua struttura *atomi di tipo diverso*, comunque in quantità infima
- se l'atomo aggiunto contiene (come l'*arsenico*) **5** elettroni liberi nell'orbita esterna, nella struttura cristallina sarà disponibile 1 *elettrone libero* per ogni atomo immesso; se invece l'atomo aggiunto contiene (come il *boro*) **3** elettroni liberi nell'orbita esterna, nella struttura cristallina mancherà 1 *elettrone* lasciando *un posto libero* per ogni atomo immesso

- la *struttura atomica* così ottenuta è comunque ancora **eletttricamente neutra** (il totale dei **protoni** è ovviamente ancora uguale a quello degli **elettroni**) ma la natura del semiconduttore *drogato* con **arsenico** ha una **carica negativa libera** da legami, che lo rende di **tipo N**, mentre quella del semiconduttore *drogato* con **boro** ha una **posizione libera** (detta *lacuna*) disponibile ad essere occupata da un elettrone (in sostanza una **carica positiva libera** da legami) che lo rende di **tipo P**
- è importante essere consapevoli che un semiconduttore *drogato*, sia di **tipo N** (ricco di **elettroni liberi**) che di **tipo P** (ricco di **lacune libere**), nel momento in cui un suo **atomo drogante** perde (**arsenico**) o acquista (**boro**) un elettrone diventa rispettivamente **ione positivo** o **negativo**

Come funziona un TRANSISTOR

Il passo successivo è quello di coinvolgere i semiconduttori *drogati* nella creazione di un componente utile; per fare questo è sufficiente creare una **giunzione P-N**, cioè avvicinare due barrette di silicio di **tipo** opposto (una **N** e l'altra **P**) e vedere cosa succede:

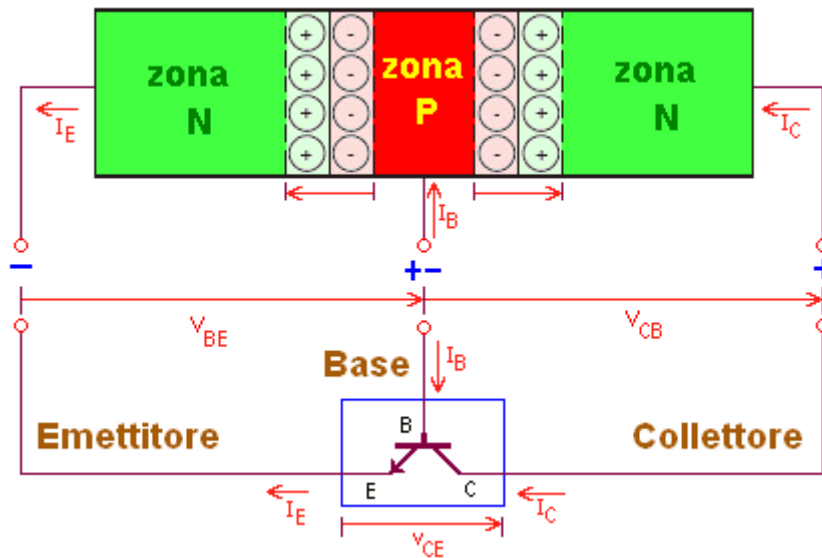
- è facile pensare che, non appena i due materiali verranno messi in contatto, gli **elettroni liberi** del semiconduttore *drogato N* piomberanno *assatanati* nei **posti liberi (lacune)** presenti nel semiconduttore *drogato P*
- questo meccanismo avrà comunque vita breve: dopo lo spostamento di ciascun elettrone l'**atomo donatore** (**arsenico**, in **zona N**) diventerà **ione positivo** (avendo un elettrone in meno rispetto al numero dei protoni) mentre l'**atomo ricettore** (**boro**, in **zona P**) diventerà **ione negativo** (avendo un elettrone in più rispetto al numero dei protoni), stabilendo di fatto una piccola **differenza di potenziale** (detta *barriera*) nei pressi della **giunzione**; essa crescerà velocemente fino a quando il campo elettrico così creato si opporrà ad ulteriore passaggio di elettroni
- dopo poco tempo, dunque, questo effimero passaggio di **corrente** (detta *di diffusione*) terminerà, lasciando una sottilissima zona ionizzata a cavallo della *giunzione* delle due zone drogate diversamente; la quantità di **ioni positivi** sarà ovviamente uguale a quella degli **ioni negativi** (lasciando il dispositivo ancora **eletttricamente neutro**) ma per poterlo utilizzare sarà necessario applicare una tensione uguale e contraria alla **barriera di potenziale**



Ancora un piccolo sforzo.. Quello che abbiamo creato è un **diodo**, al *silicio* o al *germanio*, in funzione del semiconduttore utilizzato come supporto per le due zone *drogate* **N** e **P**:

- se si applica una *tensione* esterna (come in figura) con il positivo sul terminale della **zona P** e il negativo sul terminale della **zona N**, gli elettroni (attratti dal positivo) vengono strappati prima dalla **zona ionizzata** intorno alla **giunzione** (per la qual cosa essa tende ad assottigliarsi) e poi dalla **zona N** (ricca di *elettroni liberi*) in virtù del fatto che, assottigliandosi la zona ionizzata, anche la corrispondente *barriera di potenziale* si abbassa fino al punto di lasciar passare di nuovo gli elettroni, da **N** a **P**, tanto più velocemente quanto maggiore è la tensione applicata; in questo modo la struttura (battezzata **diodo**) risulta *polarizzata direttamente*
- la *tensione diretta* applicata non consente dunque la conduzione del **diodo** fino a quando la *barriera di potenziale* non viene annullata; il suo valore (detto *tensione di soglia*) è tipico di ogni semiconduttore e vale **0,6V** per un diodo al silicio e **0,2V** per un diodo al germanio; in una precedente puntata abbiamo appurato che per i diodi LED questo valore è molto più elevato, tipicamente **1,6V** per il **Rosso**, **1,7V** per il **Giallo**, **1,8V** per il **Verde** e per l'**Arancio**
- se la *tensione* esterna si applica *in modo contrario* il **diodo** risulta *polarizzato inversamente* (con positivo su **N** e negativo su **P**) e non potrà mai entrare in conduzione perchè la **zona ionizzata** intorno alla **giunzione** tenderà a dilatarsi e il conseguente aumento della *barriera di potenziale* si opporrà sempre di più al passaggio degli elettroni.

Siamo arrivati al traguardo: il **transistor** è un dispositivo che basa il suo funzionamento su **due giunzioni**, cioè è ottenuto avvicinando **tre** barrette di semiconduttore *drogato*, le due laterali di **tipo** opposto a quella centrale; per questo esistono **transistor** con **giunzioni P-N** e **N-P** (sinteticamente detti **PNP**) e **transistor** con **giunzioni N-P** e **P-N** (noti come **NPN**); le due zone laterali sono comunque dette **emettitore** e **collettore**, mentre la zona centrale è detta **base**



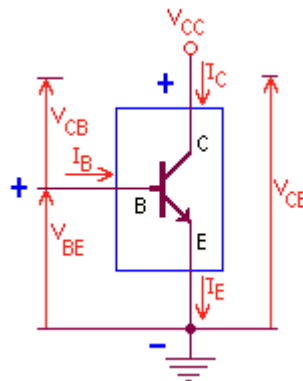
Molti bravi *comunicatori elettronici* si spendono, a questo punto, in dotte **disquisizioni teoriche**, rendendo spesso antipatico questo componente; a me piace dargli una dignità più terrena, come facevo, con un certo vezzo compiaciuto, durante le mie *istrioniche* lezioni.

La logica di funzionamento è la stessa descritta per il **diodo**: non appena i materiali sono messi in contatto, gli **elettroni liberi** di cui è ricca la **zona N** tenderanno ad occupare i **posti liberi** (*lacune*) presenti in relativa abbondanza nella **zona P**, almeno fino a quando la **barriera di potenziale** creata nei pressi di ciascuna **giunzione** avrà raggiunto un valore sufficiente ad opporsi ad ogni ulteriore *loro* passaggio, ponendo fine da entrambe le parti alla **corrente di diffusione**.

Apparentemente, sembra logico pensare che un **transistor NPN** sia dunque equivalente ad una coppia di diodi con gli **anodi** in comune e un **transistor PNP** sia equivalente ad una coppia di diodi con i **catodi** in comune, ma ovviamente **non è così** per una importante differenza: la zona di **base** è sottilissima!!

La *didattica* figura (molto ricorrente nei sacri testi) non rende dunque giustizia alla verità: dovrebbe essere tutta verde, con una traccia divisoria centrale rossa quasi invisibile; ecco cosa succede realmente:

- in condizioni di riposo tutto è immobile: le due *barriere di potenziale* hanno da tempo posto fine al passaggio di elettroni di *diffusione*
- applicando una *tensione* esterna (come in figura, con il positivo sul terminale della **zona N** di destra e il negativo sul terminale della **zona N** di sinistra) **se non ci fosse** la **zona P** gli *elettroni liberi* (di cui sono ricche entrambe le **zone N**) sarebbero attratti a destra dal positivo e respinti a sinistra dal negativo: entrerebbero in circuito dando luogo alla corrente $I_C = I_E$
- per meglio capire ho ridisegnato lo schema in termini più tradizionali; ricordo ancora [**NB!!**] la *convenzione* per la quale la corrente *scorre sempre in senso opposto* a quello degli *elettroni* che la producono



In realtà la *tensione* applicata è ripartita tra le due *giunzioni*: è evidente che la presenza al centro della **zona P** dà luogo a due *barriere di potenziale* che rendono **invece controllabile** il passaggio di *elettroni*, mettendo il **transistor** in condizioni di condurre o meno.

La *giunzione* di sinistra (detta *emettitore/base*, tra le 2 **zone N e P**) risulta *polarizzata direttamente*, cioè si ritrova il negativo sulla **zona N** e il positivo sulla **zona P**, per cui gli *elettroni* (assunti dalla **zona N**, fortemente drogata e quindi di essi molto ricca), attratti dal positivo e respinti dal negativo, provvedono in primo luogo a ricombinarsi nella *zona ionizzata* intorno alla *giunzione* (tendendo ad annullarla, assottigliandola e contribuendo ad abbassare la corrispondente *barriera di potenziale*) e poi ad appropriarsi dei "posti liberi" (*lacune*) tipici della **zona P**; poichè il suo spessore è effettivamente insignificante molte di queste cariche, sotto la spinta della

tensione applicata, si troveranno direttamente nella **zona N** del **collettore**, senza aver potuto neanche tentare di occupare qualche *lacuna*.

La *giunzione* di destra (detta *base/collettore*, tra le 2 **zone P e N**) risulta *polarizzata inversamente*, cioè con il negativo sulla **zona P** e il positivo sulla **zona N**; se la *giunzione* fosse una *signora giunzione* la conduzione sarebbe inibita perchè la zona ionizzata attorno ad essa, dilatandosi, tenderebbe ad aumentare la *barriera di potenziale*; ma l'evanescenza della **zona P** di *base* favorisce, come detto, il passaggio della maggior parte degli elettroni in arrivo dall'*emettitore direttamente nel collettore*, fenomeno incrementato anche dal fatto che la polarizzazione di questa *giunzione BC* è di norma tre quattro volte maggiore di quella *della giunzione EB*; in conclusione gli elettroni che passano sono invece favoriti dalla presenza di una tensione positiva sul polo **N** (da essa fatalmente .. *attratti*)

La geniale trovata di *tagliare* un semiconduttore ricco di *elettroni liberi* (cioè **drogato N**) con *un soffio* di **zona P** (per altro scarsamente ricettiva, cioè dotata di *poche lacune*, cioè poco *drogata*) fa sì che solo un elettrone su cento, in arrivo dall'*emettitore*, prenda la strada della *base*, mentre la gran parte *passa oltre*, verso il **collettore**.

"Uno su cento (.. mediamente) ce la fa!"

E il rapporto tra gli elettroni *che passano nel collettore* e quelli *che escono dalla base* prende il nome di **guadagno di corrente (in continua)** del **transistor** o di **guadagno statico di corrente** o **beta** o **h_{FE}** (da non confondere con il parametro dinamico **h_{fe}** , necessario per calcolare le caratteristiche di un **transistor** utilizzato come *amplificatore di segnali*, applicazione del tutto improbabile nei nostri progetti di **interfacciamento digitale**):

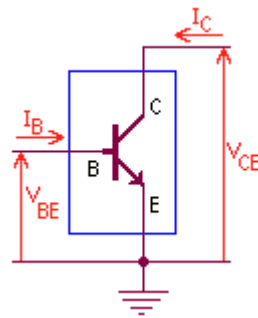
$$I_C/I_B = \text{beta} = \beta = h_{FE}$$

Il **transistor** preso in esame è di **tipo NPN** ma analoghe considerazioni possono essere fatte per la tecnologia complementare **PNP**; di fatto è ora *chiaro a tutti* che la natura di *pezzo di sabbia "tossicodipendente"* trasforma magicamente questo importante oggetto in un **amplificatore intrinseco di corrente**: imponendo una **piccola corrente di base** (estraendo dalla *base* pochi elettroni) è possibile forzare una **grande corrente tra collettore e emettitore** (*spingere* molti elettroni *dall'emettitore al collettore*).

Come si usa un TRANSISTOR

Vediamo ora di rientrare nei ranghi del nostro corso; sebbene non sia oggetto del nostro studio va sottolineato che questo *tripode* si comporta benissimo *anche* per (*pre*)amplificare i *segnali di piccolo livello*, come quello audio in uscita da un *microfono*, costituendo se vogliamo l'interfaccia tra esso e lo *stadio finale di potenza*; senza entrare troppo nel merito, per giungere a questo risultato bastano alcuni *resistori*, chiamati a fissare il suo *punto di lavoro* nel centro delle sue *caratteristiche d'uscita*, al fine di mantenere l'*amplificazione analogica* priva di distorsioni.

Poichè però il nostro obiettivo è quello di *utilizzarlo* a supporto della progettazione di *interfacce digitali* ogni considerazione relativa al suo *funzionamento dinamico* è del tutto irrilevante.



Nell'ambito che ci interessa il *transistor* si usa come *interruttore* (*switching transistor*) cioè, tra gli infiniti *punti* che costituiscono la sua *area di lavoro*, tratteremo solo quelli coinvolti ai limiti *estremi* di essa:

- quelli per i quali il *transistor non conduce* (*interruttore aperto*): si fa in modo che la tensione V_{BE} applicata in ingresso sia insufficiente per innescare la corrente di base I_B , per cui non sarà possibile disporre nemmeno della corrente d'uscita I_C e il *carico* rimarrà inattivo; tecnicamente si dice che il transistor è *in interdizione* (*OFF*).

In queste condizioni di solito V_{BE} è *nulla* [sebbene sarebbe sufficiente che V_{BE} fosse minore di **0,6V**, valore della *tensione di soglia* di un *diodo*, a cui lo stadio d'ingresso di un *transistor* (e la *giunzione EB* che lo rappresenta) assomiglia molto] e di conseguenza $I_B=0$ e $I_C=I_B*\beta=I_B*h_{FE}=0$.

- quelli per i quali il **transistor conduce al massimo** (*interruttore chiuso*): la tensione d'ingresso V_{BE} è ora sufficiente a garantire una corrente di base I_B tale da innescare il passaggio di elettroni ampiamente descritto in precedenza, assicurando al **carico** la desiderata corrente d'uscita I_C ; tecnicamente si dice che il transistor è *in saturazione* (ON)

In queste condizioni V_{BE} può essere imposta al valore **0,8V** (quello *massimo* per garantire la maggior *corrente* senza danneggiare lo stadio d'ingresso del **transistor**) e la corrente d'uscita I_C assumerà il valore *massimo possibile* (molto vicino a $I_B \cdot h_{FE}$, anche se in questa *situazione limite* l'uguaglianza è *messa in crisi*); di certo il **transistor** si comporterà (*quasi*) come un **cortocircuito** per cui la *caduta di tensione* V_{CE} ai suoi capi può ritenersi *nulla* (in prima approssimazione), anche se il suo valore tipico è $V_{CE} = \mathbf{0,2V}$.

Riassumendo: in ogni progetto di interfaccia a **transistor** a noi **basta** dunque **sapere** che, per amministrare una *grande corrente*, è sufficiente generarne una di valore *decine di volte inferiore*; anche **non disponendo** di alcuna *documentazione* (datasheet) è **sempre ragionevole ipotizzare** che il rapporto tra corrente *assicurata* (in ingresso) e corrente *controllata* (per il suo carico in uscita) sia **almeno pari a 100** [se il **transistor** è chiamato a gestire *correnti importanti* (dell'ordine della decina di ampere) il valore di h_{FE} può scendere anche a **10**, così come, per altro, in presenza di **transistor selezionati**, può salire anche a **500**]; è dunque lecito partire con questa ipotesi:

$$I_C = 100 I_B$$

(avendo imposto senza danno $I_C/I_B = \beta (= \text{beta}) = h_{FE} = \mathbf{100}$)

ed essendo nota la *corrente necessaria al carico*, di solito posto *in serie* tra il **collettore** del **transistor** e il positivo dell'alimentazione, si ricava immediatamente il valore della corrente di **base** necessaria:

$$I_B = \mathbf{0,01} I_C$$

Di certo la corrente I_B (comunque un centesimo di I_C) dipende dalla *differenza di potenziale* applicata alla *giunzione EB* descritta in precedenza; e di certo questa *tensione* è da ritenersi analoga a quella necessaria per la polarizzazione diretta di un **diodo** (al quale come detto si può ricondurre la *giunzione EB*).

Essa è detta V_{BE} , in accordo con il nome dei piedini coinvolti da questo punto di vista (quello di *Base* e quello di *Emettitore*) e, di certo, i valori applicabili sono **sempre compresi tra** (circa) **0,6V** (*valore minimo* in grado di garantire la conduzione del **transistor**, pari alla *tensione di soglia* di un **diodo**) e **0,8V** (*valore massimo* per garantire la maggiore corrente in ingresso senza danneggiare il **transistor**); queste semplici considerazioni mettono a disposizione la terza formula di progetto, da ritenere valida **per ogni** transistor:

$$V_{BE} = 0.8V$$

Allo stesso modo, poichè il **transistor** dovrà amministrare al meglio le risorse dell'alimentatore per il **carico**, sarà fatto funzionare in modo che la sua caduta V_{CE} sia trascurabile, **senza far pesare** la sua presenza; ne consegue la quarta formula di progetto, anch'essa da ritenere valida **per ogni** transistor:

$$V_{CE} = 0.2V \text{ (} \sim 0V \text{)}$$

Gli ultimi parametri di progetto, di solito **scontati**, sono la **tensione di alimentazione** disponibile, V_{CC} o V_{DD} (di solito dedotta da quella necessaria al dispositivo da controllare, spesso **12V** o **5V**, talvolta **24V**) e la tensione V_B con la quale si esercita il controllo ON/OFF del **transistor**, di solito assicurata da una sorgente decisamente **inadatta** ad **erogare corrente** (per esempio il livello alto $V_{OH}=2,4V$ di una **porta TTL** o di una **linea d'uscita** di un **microcontrollore** o di un **personal computer**).

Se il carico fosse un **Relè** è ragionevole pensare di dover disporre di una V_{DD} di **12V**, tipica di tale componente; **leggendo sul suo involucro** si può trovare **direttamente** il valore della **corrente** ad esso necessaria per **mantenere in trazione** la sua **àncora**, per esempio **40mA**; talvolta viene offerta la sua impedenza (per esempio **300ohm**) dalla quale è immediato risalire alla sua corrente nominale ($I_{Relè} = V_{Relè}/R_{Relè} = 12V/300ohm = 40mA$)

Progettare l'interfaccia a TRANSISTOR

Riassumendo, prendendo **a caso** dal cassetto dei recuperi un **transistor** di *piccola potenza*, possiamo imporre queste ipotesi, **sempre verosimili**:

$$\beta = h_{FE} = 100 = I_C / I_B$$

$$I_B = 0,01 I_C$$

$$V_{BE} = 0.8V$$

$$V_{CE} = 0.2V$$

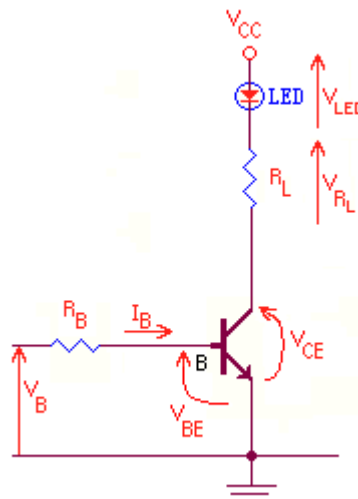
Interfaccia per un LED: se il fine è quello di interfacciare un **diodo Led** la conoscenza dei valori di tensione e corrente di funzionamento del dispositivo da controllare (sempre disponibili, $V_{Led}=1,8V$, $I_{Led}=10mA$) ci permette di ricavare altre formule di progetto:

$$I_C = 10mA$$

$$I_B = 0,01 I_C = 0.1mA$$

Se poi il comando On/OFF è imposto dalla **linea d'uscita** di un *microcontrollore* o di una *porta parallela* un *PC* si dispone anche dell'ultimo dato necessario:

$$V_B = V_{OH} = 2,4V$$



Non rimane che **portare a termine il progetto**, cioè calcolare le sole cose rimaste incognite: il valore della *resistenza* dei **resistori**, R_B e R_L , da aggiungere per **limitare la corrente** nei vari componenti coinvolti; supponendo di disporre di una alimentazione con questo valore di tensione:

$$V_{CC} = 12V$$

devono ora essere coinvolte le *equazioni d'ingresso e d'uscita* di un **transistor** in continua, progettato per lavorare in saturazione (cioè per erogare la massima corrente possibile):

$$V_{CC} = V_{Led} + I_{Led} * R_L + V_{CE}$$

$$V_B = V_{RB} + V_{BE} = I_B * R_B + V_{BE}$$

Sostituendo i valori noti è immediato concludere che:

$$\begin{aligned} R_L &= (V_{CC} - V_{Led} - V_{CE}) / I_{Led} \\ &= (12V - 1,8V - 0,2V) / 10mA \\ R_L &= 1000 \text{ Ohm} = 1 \text{ kOhm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_B &= (V_B - V_{BE}) / I_B \\ &= (2,4V - 0,8V) / 0,1mA \\ R_B &= 16 \text{ kOhm} \end{aligned}$$

Da notare che l'effettiva scelta dei **componenti resistivi** va poi esercitata conoscendo e assumendo quelli con il *valore normalizzato* più vicino a quello calcolato, cioè $R_L = 1 \text{ kOhm}$ e $R_B = 18 \text{ kOhm}$; per ovvie ragioni i costruttori rendono disponibili solo pochi valori (per esempio la **serie normalizzata E12** ne rende disponibili 12, i più comuni:

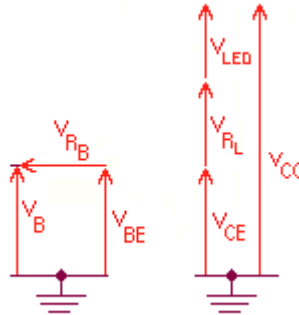
1,0, 1,2, 1,5, 1,8, 2,2, 2,7, 3,3, 3,9, 4,7, 5,6, 6,8 e 8,2

mentre la **serie normalizzata E24** ne rende disponibili 24:

1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,5, 1,6, 1,8, 2,0, 2,2, 2,4, 2,7, 3,0, 3,3, 3,6, 3,9, 4,3, 4,7, 5,1, 5,6, 6,2, 6,8, 7,5, 8,2 e 9,1

In chiusura voglio segnalare una tecnica a me cara che, nel progetto dei circuiti elettronici, tende a sostituire mentalmente i componenti reali con le loro *cadute di tensione*, al fine di evitare possibili confusioni intellettuali e di concentrare l'attenzione sull'aspetto circuitale più importante: questa

virtualizzazione educa la mente e aiuta a *scrivere le equazioni* del progetto e a *determinare velocemente i valori desiderati*:



Interfaccia per un Relè: reimpostiamo le sequenze di progetto al fine di interfacciare un **Relè** ($V_{Relè}=12V$, $R_{Relè}=300\Omega$) magari con un **diode Led** ($V_{Led}=1,8V$, $I_{Led}=10mA$) in parallelo; la base di partenza è la sequenza di formule valide in generale (supponendo un controllo a partire, come prima, dalla **linea d'uscita** di un *microcontrollore* o di una *porta parallela* un *PC*):

$$\beta = h_{FE} = 100 = I_C / I_B$$

$$I_B = 0,01 I_C$$

$$V_{BE} = 0,8V$$

$$V_{CE} = 0,2V$$

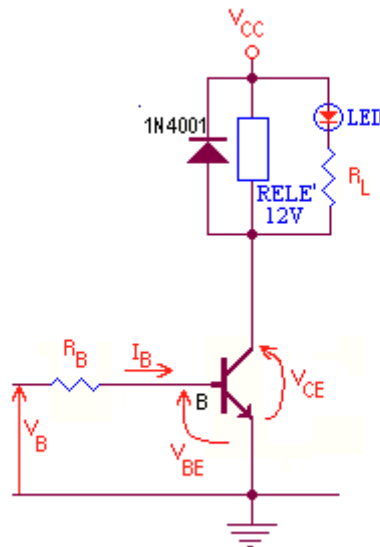
$$V_B = V_{OH} = 2,4V$$

Dai **dati di targa** (tensione e corrente di funzionamento) dei dispositivi da controllare, **Relè** ($V_{Relè}=12V$, $R_{Relè}=300\Omega$) e **diode Led** ($V_{Led}=1,8V$, $I_{Led}=10mA$), si ricavano gli altri valori di progetto:

$$I_C = 40mA + 10mA = 50mA$$

$$I_B = 0,01 I_C = 0,5mA$$

$$V_{CC} = 12V$$



Le incognite del **progetto** sono ancora il valore della *resistenza* dei **resistori**, R_B e R_L ; le *equazioni d'ingresso e d'uscita* di un **transistor** in continua sono ora:

$$V_{CC} = V_{Relè} + V_{CE}$$

oppure

$$V_{CC} = V_{Led} + I_{Led} * R_L + V_{CE}$$

$$V_B = V_{RB} + V_{BE} = I_B * R_B + V_{BE}$$

Sostituendo i valori noti è immediato concludere che:

$$R_L = (V_{CC} - V_{Led} - V_{CE}) / I_{Led}$$

$$= (12V - 1,8V - 0,2V) / 10mA$$

$$R_L = 1000 \text{ Ohm} = 1 \text{ kOhm}$$

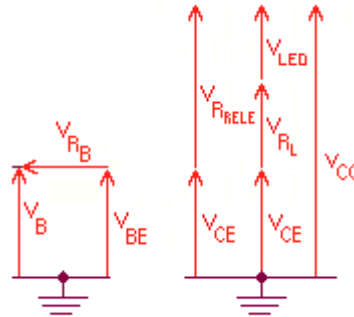
$$R_B = (V_B - V_{BE}) / I_B$$

$$= (2,4V - 0,8V) / 0,5mA$$

$$R_B = 3.2 \text{ kOhm}$$

Da notare che l'effettiva scelta dei **componenti resistivi** va poi esercitata conoscendo e assumendo quelli con il *valore normalizzato* più vicino a quello calcolato, cioè $R_L = 1 \text{ kOhm}$ e $R_B = 3.3 \text{ kOhm}$;

Lo schema che *virtualizza* i componenti è:



CONSIDERAZIONI DI PROGETTO PER ALCUNE PERIFERICHE A 8 BIT

Gli schemi proposti sono talmente banali che, ai più, sembrerà inutile perdere tempo per analizzarli; di norma molti di noi si limitano a procurarsi i componenti indicati e a realizzare il progetto, spesso su una *breadboard* o su una *basetta millefori*, attendendo con fiducia l'esito preannunciato.

Con le considerazioni precedenti, ho cercato di far passare un concetto diverso: **capire, per fare da soli**:

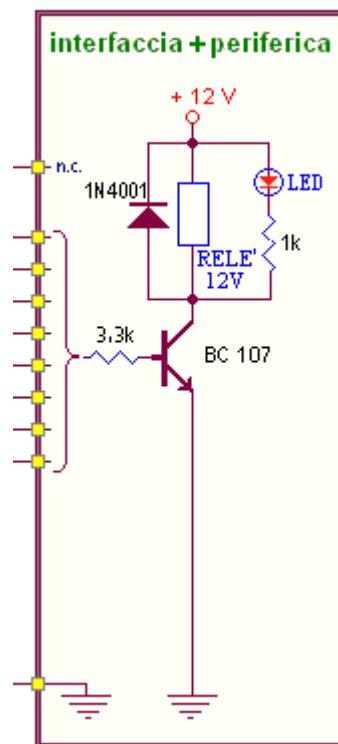
- sapendo che, con un *relè*, è possibile *controllare l'accensione* di qualunque *utilizzatore* (come *lampade, lavatrici, motori, impianti stereo, ecc.*) come posso *creare da zero* un'**interfaccia** adatta a questa **periferica**? Certamente gli schemi sono quelli in figura... Ma come scegliere i componenti necessari?
- la necessità di un **transistor** è scontata, ma spesso (specialmente per i *progettisti* alle prime armi) la sua scelta è un ostacolo insormontabile: che *sigla* deve avere?

In realtà, alla fine, la cosa si è mostrata piuttosto semplice.

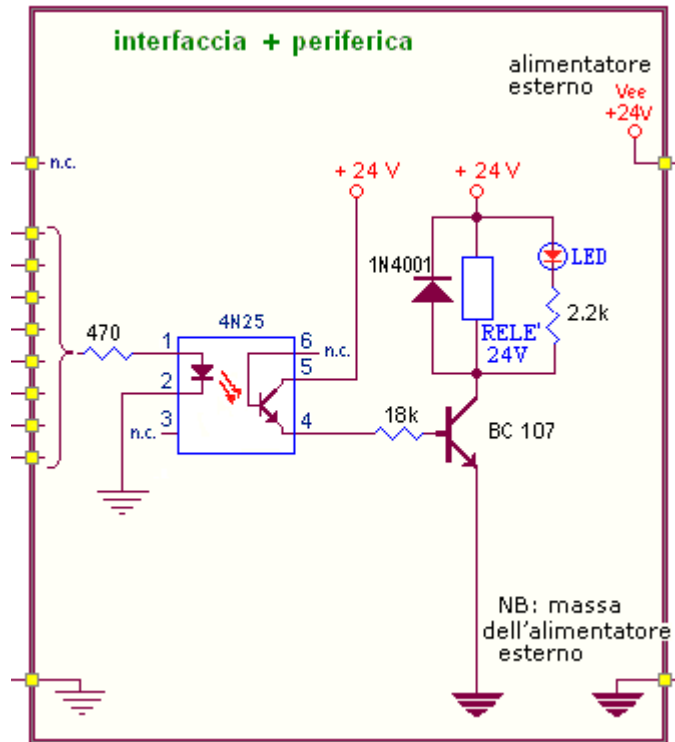
Per il collegamento di queste **periferiche**, utili in molte occasioni e decisamente comuni, **anche** l'eventuale presenza di un **74LS244** è, in questo caso, facoltativa: costituirebbe un ulteriore *strato intermedio* da offrire come *vittima sacrificale* (a salvaguardia della **logica di controllo**) in caso di *eventuali* traumi irreparabili a valle.

Ma l'**interfaccia a transistor** è funzionalmente addirittura migliore e più malleabile; essa provvede con estrema facilità a fornire la corrente necessaria alla **periferica**, costituita da un relè e (opzionalmente) da un led, mediante *una cinquantina di mA*, la dove ciascuno degli 8 *buffer '244* non potrebbe darne più di **15 mA**.

Servizio di Carichi ad alta tensione (220V) - Prima Versione



Servizio di Carichi ad alta tensione (220V) - Seconda Versione



Nota: in entrambi i progetti si osserva la presenza di un **diodo 1N4001** polarizzato *inversamente*, ai capi della *bobina* del **relè**; si tratta di un accorgimento necessario per fermare i *transitori elettrici* generati dalla *improvvisa interruzione* della *corrente* attraverso un carico induttivo (nel nostro caso l'*avvolgimento* che genera il campo magnetico necessario per attrarre la sua *àncora*).

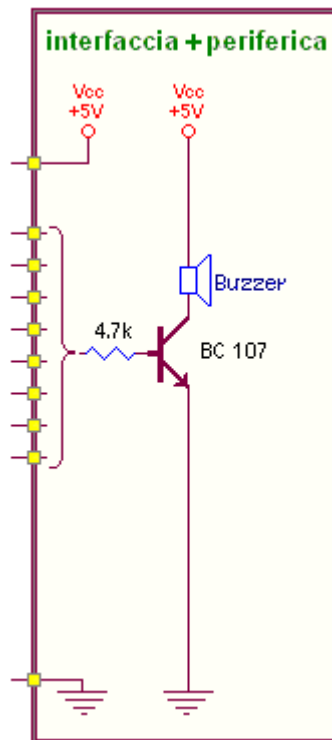
In sostanza, non appena il **transistor** passa dalla *forte conduzione* (saturazione) alla *non conduzione* (interdizione) il carico induttivo (**relè**), venendo rapidamente disattivato, tenta di opporsi e di mantenere la corrente che lo attraversa, generando un *picco di tensione* nel senso inverso, di dimensioni tali da provocare danni transistori o addirittura permanenti al nostro **transistor**.

Il **diodo 1N4001** non conduce (è *interdetto*) in *condizioni normali* (quando il **relè** è alimentato e trattiene magneticamente la sua *àncora*) ma *entra in forte conduzione* nel momento nel quale il carico induttivo (**relè**) viene disattivato; in questo modo l'energia in esso accumulata viene dissipata

nella resistenza dell'induttore e in quella (pur piccola) del diodo, invece di generare una sovratensione sul **transistor**, proteggendolo!!

Curioso pensare che questo accorgimento *salvatransistor* allunga i tempi d'esercizio del **relè**; se pur per tempi brevi la *corrente* continuerà a circolare in esso, fino a quando l'energia immagazzinata nella sua bobina non si sarà consumata del tutto.

Servizio per buzzer o altoparlanti



Per questa volta è davvero tutto; riprenderemo il discorso nelle prossime schede occupandoci di nuove **periferiche** e delle loro interfacce...

Questo Tutorial è **del tutto originale**, creato e pensato per gli amici di **Grix** e articolato in numerose *puntate*...

Ogni suo **testo, immagine, schema, progetto** è protetto dalla normativa sul **diritto d'autore** [http://www.siae.it/Faq_siae.asp]; la **riproduzione a fini commerciali**, totale o parziale, è quindi **vietata** in qualunque forma, su qualsiasi supporto e con qualunque mezzo.

L'autore è invece orgoglioso di offrire gratuitamente il suo lavoro e la sua esperienza a chiunque desidera arricchire le proprie conoscenze, autorizzando la **stampa** di quest'opera per un uso **personale e non commerciale** e l'eventuale utilizzo dei contenuti in ambiti esclusivamente amatoriali o didattici con la *speranza* che ne venga almeno citata la fonte.

Puoi [scaricare qui la versione PDF](#) della **SESTA PARTE**

Gli argomenti **citati** in questa puntata sono **disponibili** anche sul sito



una ricca raccolta di dispositivi e progetti pensata per aiutarti a comprendere i segreti del tuo computer [sia *Personal* che *microcontrollore*]