

*Maurizio Del Corso  
Tiziano Galizia*

***Conoscere ed usare***

---

**PICmicro**

*Progettare con i microcontrollori PIC  
in modo facile e veloce*

**INWARE**  
EDIZIONI

*Titolo:*

**Conoscere ed usare  
PICmicro**

Prima Edizione - Marzo 2005

ISBN 88-901665-0-9

*Autore:*

**Maurizio Del Corso - Tiziano Galizia**

*Copyright:*

© **2005 – INWARE Edizioni**

Via Cadorna 27/31

20032 Cormano (MI)

Tel 02-66504794 Fax 02-66508225

info@inwaredizioni.it www.inwaredizioni.it

*Stampa:*

GEMM GRAFICA srl – Cormano (MI)

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle convenzioni internazionali. È vietata la riproduzione di testi e di disegni raccolti in questa opera.

Nomi e marchi citati nel testo sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

# Indice

<b>1 - Introduzione ai PICmicro</b> .....	<b>1</b>
Un po' di storia.....	1
Introduzione al PICmicro .....	2
PIC16F84A Il microcontrollore utilizzato in questo libro.....	5
CPU e memoria .....	5
Periferiche .....	5
Struttura interna.....	7
Organizzazione della memoria programma.....	8
Organizzazione della memoria dati .....	9
<b>2 - Gli strumenti necessari</b> .....	<b>11</b>
L'hardware.....	11
Una scheda di prototipazione .....	11
Un programmatore .....	13
Alimentazione dei circuiti .....	13
Il software .....	14
MPLAB: editor e compilatore .....	14
Il software per la programmazione .....	15
<b>3 - Un semplice lampeggiatore a led</b> .....	<b>17</b>
Lo schema elettrico .....	17
La generazione del segnale di clock.....	18
Scrittura e compilazione di un programma assembler .....	22
Analisi di un sorgente Assembler .....	25
La subroutine Delay.....	32
La compilazione di un sorgente assembler.....	34
I flag di configurazione dei PICmicro .....	35
<b>4 - Architettura interna del PIC16F84A</b> .....	<b>37</b>
La Program Memory.....	38
Il Register File.....	38
La ALU.....	41
L'Accumulatore o registro W .....	42
Il Program Counter (PC).....	43
Lo Stack Pointer .....	44
<b>5 - Realizzazione delle "luci in sequenza"</b> .....	<b>47</b>
<b>6 - Le porte di I/O</b> .....	<b>51</b>
Le porte A e B.....	51
Stadi di uscita delle linee di I/O .....	53
Stadio di uscita delle linee RA0, RA1, RA2 e RA3 .....	53
Funzionamento in ingresso.....	53
Funzionamento in uscita.....	54
Stadio d'uscita della linea RA4 .....	54
Stadio di uscita delle linee RB0, RB1, RB2 ed RB3 .....	56
Stadio di uscita delle linee RB4, RB5, RB6 e RB7 .....	57
Uso delle porte di I/O: Input da tastiera.....	58

<b>7 - Il contatore TMR0 ed il PRESCALER.....</b>	<b>61</b>
Il registro contatore TMR0 .....	61
Il Prescaler .....	63
Esempio di uso del prescaler .....	64
<b>8 - Gli interrupt .....</b>	<b>67</b>
Tipi di evento e bit di abilitazione.....	67
Interrupt vector ed Interrupt handler .....	68
Interrupt flag.....	68
Salvataggio del contesto.....	69
Ritorno da un interrupt handler.....	70
Esempio pratico di gestione di un interrupt .....	70
Analisi del sorgente INTRB.ASM.....	71
Perchè viene generato un interrupt quando è premuto un tasto qualsiasi? .....	72
Esempio pratico di gestione di più interrupt.....	73
Analisi del sorgente DBLINT.ASM .....	74
<b>9 - Reset .....</b>	<b>75</b>
Power-On-Reset (POR).....	77
Power-up Timer (PWRT) .....	77
Oscillator Start-up Timer (OST).....	77
<b>10 - Il Power Down Mode.....</b>	<b>81</b>
Introduzione .....	81
L'istruzione SLEEP .....	81
Il "risveglio" del PICmicro.....	82
Esempio di Power Down mode .....	82
<b>11 - Il watch dog timer (WDT) .....</b>	<b>85</b>
Introduzione .....	85
Assegnazione del PRESCALER al WDT .....	86
Esempio pratico di uso del Watch Dog Timer .....	87
<b>12 - Scrittura e lettura dati da EEPROM .....</b>	<b>89</b>
Registri speciali per l'accesso alla EEPROM dati .....	89
Scrittura di un dato su EEPROM .....	89
Lettura di un dato da EEPROM .....	91
<b>13 - Esempi ed applicazioni pratiche .....</b>	<b>93</b>
Gestione di un display LCD .....	93
Hello World! .....	94
Le linee Enable (E) e Register Select (RS) dell'LCD .....	95
Multiplex sul bus dati .....	95
Analizziamo il sorgente LCD1.ASM .....	96
Subroutine di gestione del display LCD .....	97
Gestione di una connessione RS232 .....	99
Introduzione .....	99
Cos'è e a cosa serve l'RS232 .....	100
La comunicazione seriale asincrona .....	101
Come collegare il circuito d'esempio.....	102
Funzionamento del MAX232.....	103
Analisi del file sorgente .....	104

Un altro esempio con l'interfaccia RS232 .....	108
Protocollo di comunicazione con il PC.....	109
Comandi di accensione LED .....	109
Comandi di spegnimento LED .....	109
Lettura stato pulsanti .....	109
Programma di prova .....	110
Realizzazione del gioco elettronico "SIMON" .....	111
<b>14 - Set di istruzioni.....</b>	<b>113</b>
Le istruzioni semplici .....	113
ADDLW .....	115
ADDWF .....	116
ANDWF .....	116
ANDLW .....	117
BCF .....	118
BSF .....	118
BTFSC.....	119
BTFSS.....	119
CALL .....	120
CLRF .....	121
CLRW.....	121
CLRWDT .....	121
COMF .....	122
DECF .....	122
DECFSZ .....	123
GOTO.....	123
INCF .....	124
INCFSZ .....	124
IORLW.....	125
IORWF .....	125
MOVLW.....	126
MOVF .....	126
MOVWF.....	127
NOP.....	127
RETFIE.....	127
RETLW.....	128
RETURN .....	128
RLF.....	129
RRF .....	130
SLEEP .....	131
SUBLW.....	131
SUBWF .....	132
SWAPF.....	133
XORLW .....	133
XORWF .....	133
Le istruzioni speciali .....	135
ADDCF .....	135
ADDDCF .....	135
B .....	135
BC .....	136
BDC.....	136
BNC.....	136
BNDC .....	136
BNZ .....	137

BZ.....	137
CLRC.....	137
CLRDC.....	137
CLRZ.....	137
MOVFW.....	138
NEGF.....	138
SETC.....	138
SETDC.....	138
SETZ.....	138
SKPC.....	139
SKPDC.....	139
SKPNC.....	139
SKPNDC.....	139
SKPNZ.....	139
SKPZ.....	139
SUBCF.....	140
SUBDCF.....	140
TSTF.....	140
<b>15 - Direttive dell'assembler MPASM.....</b>	<b>141</b>
CBLOCK.....	141
__CONFIG.....	141
DT.....	143
#DEFINE.....	144
EQU.....	144
ERRORLEVEL.....	144
EXTERN.....	145
GLOBAL.....	146
IF.....	146
IFDEF.....	147
INCLUDE.....	147
ORG.....	148
RES.....	148
MACRO.....	148
PROCESSOR.....	150
RADIX.....	150
<b>A - La programmazione ICSP™ dei PICmicro.....</b>	<b>151</b>
<b>B - Tabelle.....</b>	<b>155</b>
Tabella dei caratteri ASCII.....	156
Tabella di conversione binario/esadecimale.....	157
<b>C - Glossario dei termini utilizzati.....</b>	<b>159</b>
.ASM file.....	159
.ERR file.....	159
.HEX file.....	159
.LST file.....	159
CPU.....	159
ICSP.....	159
Interrupt.....	159
Macro.....	159
Microcontroller.....	159

Notazione BINARIA ed ESADECIMALE .....	160
OPCODE .....	160
Operazioni booleane .....	160
AND .....	160
OR .....	161
XOR .....	161
NOT .....	161
RAM .....	161
RESET .....	161
ROM, PROM, EPROM, EEPROM, FLASH .....	162
ROM .....	162
PROM .....	162
EPROM .....	162
EEPROM .....	162
FLASH .....	162
SUBROUTINE .....	162
<b>D - Routine Assembler di varia utilità.....</b>	<b>163</b>
Conversione da ASCII a binario .....	163
Conversione da binario a cifre ASCII .....	164
Conversione da esadecimale a cifre ASCII.....	166
Moltiplicazione tra due numeri binari a 16 bit.....	167
Divisione tra un dividendo binario a 48 bit ed un divisore binario a 23 bit..	168
Gestione di ore, minuti e secondi mediante Timer0.....	170
Discriminazione di un interrupt .....	172
<b>E - Il contenuto del CD .....</b>	<b>173</b>
L'interfaccia grafica .....	173
I contenuti .....	174
<b>F - Indice delle figure e delle tabelle.....</b>	<b>175</b>



## ***Prefazione***

Era la fine del 1991 quando misi per la prima volta i miei occhi su un data-book della Microchip, si trattava di un PIC17C42 "Preliminary". In quel periodo andava molto di moda stampare i data-book con questa scritta trasversale, forse lo facevano perché dubitavano che questi oggettini pretenziosi potessero mai guadagnarsi lo status di un prodotto maturo.

Erano gli anni in cui la famiglia 5x, con il glorioso PIC16C54 rappresentava l'unico paniere di prodotti OTP a buon mercato disponibili (letteralmente) sulla piazza. Molti anni anagrafici (purtroppo) sono passati da allora, ma molti di più tecnologicamente parlando. Oggi esistono migliaia di prodotti FLASH, la tecnologia che ha sostituito rapidamente quella OTP, di costruttori diversi, ma Microchip è sempre lì, continua a raccontare una storia cominciata negli anni ottanta.

Da allora ha accompagnato i primi passi di milioni di firmwaristi e progettisti in erba, affascinando per la sua compattezza, per le prestazioni inarrivabili ad una semplicità spesso disarmante. Ciononostante, ai nostri giorni, si sentiva ancora il bisogno di un libro che parlasse di PIC "dando del tu" al lettore, non in senso letterale ma permettendo una rapida assimilazione dei concetti apprendendoli in modo molto pratico.

Questo libro nasce infatti su un successo: il PIC BY EXAMPLE (noto anche come PBE), che nel 1997 il co-autore Tiziano Galizia scrisse con grande entusiasmo insieme a Sergio Tanzilli e lo pubblicò in una esordiente Internet. Il PBE è stato riorganizzato e rielaborato con la preziosa esperienza di Maurizio Del Corso che, lavorando a quattro mani con Tiziano Galizia, ha prodotto una trattazione ottimale, esaustiva e di indubbio aiuto per ogni neofita appassionato.

Antonio Cirella  
Editore



# ***Introduzione***

Conoscere a fondo un microcontrollore non significa solo averne compreso le sue funzioni e le sue potenzialità, ma significa soprattutto disporre di uno strumento potentissimo per la realizzazione di sistemi elettronici ottimizzati per la gestione ed il controllo di apparecchiature anche molto complesse. Tuttavia, benché la letteratura in materia sia abbondante, non è sempre immediato capire nel dettaglio come utilizzare questi dispositivi per trarne il massimo delle prestazioni. L'intento di questo volume è accompagnare il lettore alla scoperta dei microcontrollori PICmicro, seguendo un approccio prevalentemente pratico in modo da realizzare semplici progetti fin dalle prime pagine, rendendo molto semplice la comprensione di questi affascinanti dispositivi.

Il testo tratta in maniera esaustiva il microcontrollore PIC16F84A e le sue applicazioni circuitali. Viene analizzata l'architettura interna con riferimento alle porte di I/O ed i relativi stadi di ingresso ed uscita, il timer TMR0 e la sua utilizzazione mediante il prescaler. Vengono illustrate le tecniche di gestione mediante interruzioni, il power-down mode e la gestione dei vari meccanismi di reset nonché l'uso del watchdog timer e la scrittura/lettura dati della EEPROM interna.

Gli argomenti sono trattati attraverso semplici circuiti di esempio il cui codice viene analizzato riga per riga in modo da spiegarne la funzione fin nei minimi dettagli. Tra gli esempi applicativi vengono proposti la gestione di un display LCD, la gestione di una connessione RS232, la gestione di una tastiera ed un esempio di gestione della EEPROM interna mediante la realizzazione dello storico gioco elettronico "SIMON".

Per rendere il lettore autonomo nella realizzazione dei vari progetti, viene illustrato l'uso dell'ambiente MPLAB di Microchip che consente la creazione e modifica dei file sorgenti e la relativa compilazione mediante una interfaccia "user friendly".

A completamento della trattazione vengono analizzate tutte le istruzioni supportate da PIC16F84A incluse le macro-istruzioni e molte delle direttive dell'assemblatore MPASM.

A corredo del volume è allegato un CDROM contenente tutta la documentazione tecnica relativa ai PICmicro, l'ambiente di sviluppo MPLAB, i file sorgenti e compilati relativi ai progetti trattati e le versioni dimostrative di vari pacchetti software utili alla realizzazione di progetti con i PICmicro.

Le nozioni trattate nel presente volume possono essere facilmente applicate ad altri modelli di PICmicro rendendo il testo non solo un punto di partenza, ma anche un utile manuale da tenere sempre a portata di mano.



## **Ringraziamenti**

Sono doverosi i ringraziamenti a Sergio Tanzilli, amico di vecchia data, per la stesura del corso originale - PIC BY EXAMPLE - nel "lontano" 1997.

Il corso è ancora visibile all'indirizzo [www.tanzilli.com](http://www.tanzilli.com) ed è stato tradotto in diverse lingue. Possiamo sicuramente affermare che migliaia di utenti hanno iniziato la loro avventura con i PICmicro seguendo proprio questo corso.

I nostri ringraziamenti vanno anche ad Antonio Cirella (Direttore Responsabile della rivista Fare Elettronica – [www.fareelettronica.com](http://www.fareelettronica.com)) per averci convinto a portare avanti questo progetto e per il grande supporto morale e logistico che ci ha accompagnato durante tutto il lavoro di stesura del testo.

Infine un ringraziamento a voi lettori che avete deciso di acquistare il libro, con la speranza e, senza peccare di presunzione "certezza", che vi tornerà molto utile per comprendere questi microcontrollori ormai entrati, a pieno diritto, nella storia dell'elettronica.

*Ai miei amici.*

Maurizio Del Corso

*Vorrei dedicare questo mio lavoro alle persone che amo di più. Mia moglie Angela, che ha avuto tanta pazienza nel sopportare le notti passate al computer, dandomi la tranquillità necessaria a poter completare il libro; il mio piccolo Julian, che con la sua allegria e curiosità ha tentato incessantemente di spegnere il mio computer dopo aver scoperto a cosa serviva quel "misterioso" pulsante nero; la dolcissima Gaia, che vedendomi lavorare da solo in ufficio, ha voluto tenermi compagnia ogni giorno, guardando incessantemente il DVD di "Topo Gigio" sull'altro computer.*

Tiziano Galizia



# 1 - INTRODUZIONE AI PICMICRO

## UN PO' DI STORIA

**Microchip Technology Incorporated** è stata fondata da un gruppo di investitori che vide il potenziale di mercato nella linea di semiconduttori della *General Instruments* che allora produceva diversi componenti elettronici. La *General Instruments* aveva a catalogo anche una interessante linea di microcontrollori programmabili, chiamata **Peripheral Interface Controllers**, in pratica **PIC** (ecco svelato il significato della sigla).

Di fatto erano dei microcontrollori molto semplici, costruiti attorno ad un'architettura **RISC (Reduced Instructions Set Code)**, in grado di eseguire una istruzione per ciclo di clock alla frequenza massima di 20 Mhz (attualmente i PICmicro della famiglia 18 raggiungono la frequenza di 40 MHz). Questo faceva del PIC un microcontrollore a 8 bit relativamente veloce, ma la caratteristica ancora più interessante era la possibilità di disporre di correnti, in uscita ad ogni pin, di circa 20 mA, quando i prodotti concorrenti difficilmente superavano la decina di milliAmpere.

Per ragioni sconosciute, la *General Instruments* valutò che non valesse la pena mantenere la divisione microcontrollori e quindi decise di venderla al gruppo di investitori, insieme alla fabbrica di *Chandler* in *Arizona*. Il gruppo d'investitori fondò quello che oggi è noto come *Microchip Technology* e questi microcontrollori diventarono il loro prodotto di punta. Era il 1990.

Inizialmente i modelli disponibili erano pochi, non tutti disponevano di alcune caratteristiche comuni come l'interrupt e usavano un inconsueto sistema di paginazione della memoria (ancora oggi utilizzato su alcuni modelli).

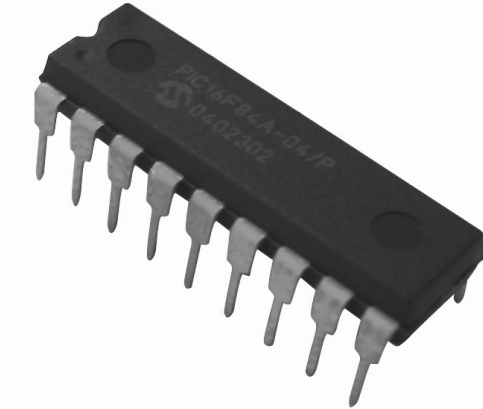
A dispetto di queste limitazioni, il mercato rispose in modo incoraggiante, consentendo a *Microchip* di sviluppare nuovi modelli con caratteristiche migliori, tra le quali: interrupt, A/D, comparatori, periferiche seriali e parallele ed altro ancora. Molto presto la *Microchip* introdusse la prima famiglia di microcontrollori con memoria **OTP (One Time Programming)** che, consentendo la programmazione diretta del chip, permettevano di evitare gli alti costi di mascheratura delle allora comuni memorie di tipo ROM (**Read Only Memory**). Questo ne aumentò in maniera considerevole la richiesta soprattutto da parte di piccole aziende. In seguito si aggiunsero le prime famiglie con memoria FLASH, la famiglia a 8 pin (PIC12) ideale per impieghi in prodotti a basso costo, e le famiglie ad alte prestazioni ed alto numero di pin (PIC17/18/dsPIC).

La grande offerta di prodotti (alcune centinaia di modelli) e l'enorme flessibilità

offerta dai microcontrollori PIC, decretò il definitivo successo della Microchip, rendendo questa azienda il primo produttore mondiale di microcontrollori a 8 bit.

## INTRODUZIONE AL PICMICRO

I **PICmicro**, che per semplicità da ora in poi chiameremo **PIC**, sono circuiti integrati appartenenti alla categoria dei microcontrollori, ovvero componenti che integrano, in un unico dispositivo, tutti i circuiti necessari a realizzare un completo sistema digitale programmabile.



*Figura 1.1: Il PIC16F84A*

Come si può notare dalla figura 1.1, i PIC, in questo caso un **PIC16F84A**, si presentano esternamente come dei normali circuiti integrati TTL o CMOS, ma internamente dispongono di tutti i dispositivi tipici di un sistema a microprocessore, ovvero:

### **CPU (Central Processor Unit)**

La CPU è il “cervello” del microcontrollore in quanto si occupa di interpretare le istruzioni di programma. La potenza di calcolo di una CPU si misura in milioni d’istruzioni per secondo (MIPS) e, nel caso dei PIC, si ottiene dividendo la frequenza di clock per quattro.

### **Memoria programma (FLASH)**

Nella memoria programma sono memorizzate le istruzioni da eseguire: il programma. In particolare, nel PIC16F84A, utilizzato nella presente trattazione, questa memoria è di tipo FLASH. Questo tipo di memoria può essere scritta migliaia di volte, rendendola ideale per impieghi hobbistici, per lo sviluppo o per tutte quelle applicazioni che richiedono un aggiornamento frequente del codice.

### Memoria RAM (Random Access Memory)

La memoria RAM è usata per memorizzare le variabili utilizzate dal programma. È una memoria di tipo non permanente, quindi, togliendo la tensione di alimentazione al microcontrollore, i dati memorizzati andranno perduti.

### Memoria EEPROM (Random Access Memory)

La memoria EEPROM è usata per memorizzare le variabili utilizzate dal programma. È una memoria di tipo permanente, quindi, togliendo la tensione di alimentazione al microcontrollore, i dati rimarranno memorizzati.

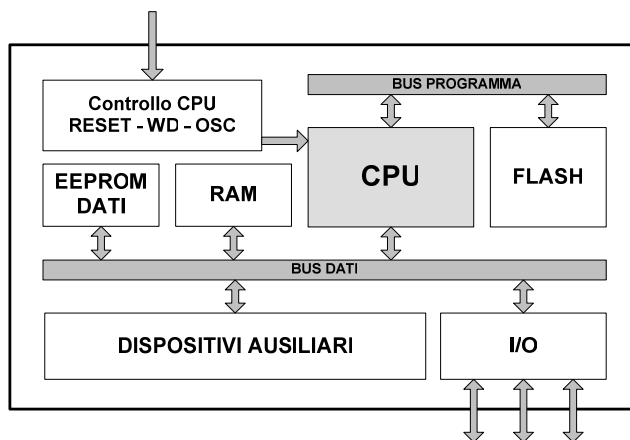
### Linee di I/O (Input/Output)

Le linee d'ingresso e uscita. Si utilizzano per pilotare dispositivi esterni o ricevere segnali da sensori, pulsanti, ecc. Una delle particolarità che differenziano i PIC da altri dispositivi analoghi è la corrente di uscita disponibile, più che sufficiente a pilotare piccoli carichi come i LED.

### Dispositivi ausiliari

Una serie di dispositivi ausiliari, quali: generatori di clock, bus, contatori, convertitori AD, porte seriali, eccetera.

La presenza di tutti questi dispositivi, in uno spazio veramente contenuto, consente al progettista di avvalersi degli enormi vantaggi derivanti dall'uso di un sistema a microprocessore, anche in quei circuiti che fino a poco tempo fa erano destinati ad essere realizzati con circuiterie tradizionali.



**Figura 1.2:** Schema a blocchi di un microcontrollore di nuova generazione.

*Nota*

La potenza di calcolo di un PIC si ottiene dividendo per quattro la frequenza di clock. Ad esempio:  $20 \text{ MHz} / 4 = 5 \text{ MIPS}$ .

I **PIC** sono disponibili in un'ampia gamma di modelli per meglio adattarsi alle esigenze di progetto specifiche, differenziandosi per: numero di linee di I/O, quantità e tipo di memoria e per dotazione di dispositivi.

Si parte dai modelli più piccoli, identificati dalla sigla **PIC12** e dotati di soli 8 pin, fino ad arrivare ai modelli più grandi con sigla **PIC18** dotati di 40 e più pin.

Una descrizione dettagliata delle tipologie di PICmicro è disponibile presso il sito web della Microchip, raggiungibile all'indirizzo [www.microchip.com](http://www.microchip.com) contenente una grande quantità di informazioni tecniche, software di supporto, esempi di applicazioni e aggiornamenti disponibili.



*Nel CD allegato*

Nella cartella \Documentazione trovate il file `Microchip_Line_Card.pdf` che riporta le caratteristiche di tutti i modelli di PICmicro disponibili, i sistemi di sviluppo ed altri componenti prodotti dalla Microchip.

---

# PIC16F84A

## IL MICROCONTROLLORE UTILIZZATO IN QUESTO LIBRO

Prima di entrare nel vivo della sperimentazione, è necessario analizzare in dettaglio il microcontrollore che verrà utilizzato: il PIC16F84A. Questo modello di PICmicro, oramai storico, è uno dei più economici e facilmente reperibili anche per l'hobbista, oltre ad essere particolarmente adatto per scopi didattici.

### CPU e memoria

- 35 istruzioni single word (tutte le istruzioni sono eseguite in un solo ciclo-macchina, tranne quelle di salto e confronto che richiedono due cicli)
- Velocità operativa massima: 20 MHz (5 MIPS)
- 1 KB di memoria programma (FLASH)
- 68 bytes di memoria dati (RAM)
- 64 bytes di memoria dati (EEPROM)
- Programmazione in-circuit (ICSP™)
- SLEEP mode
- 4 differenti tipi di oscillatore selezionabili
- Basso consumo di corrente
- Alimentazione da 2.0 a 5.5 V (dipende dai modelli)

### Periferiche

- Timer0: 8-bit timer/counter con prescaler a 8-bit
- Watch-Dog timer (WDT) con oscillatore RC interno
- 13 pin di I/O capaci di erogare fino a 25mA di corrente

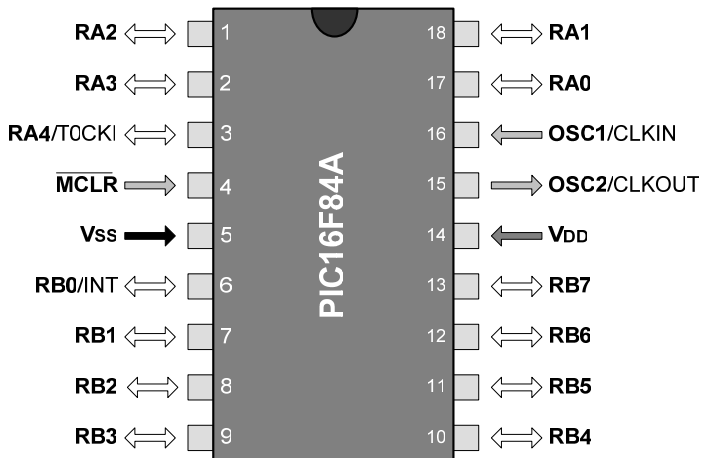


Figura 1.3: Piedinatura del PIC16F84A