1. - PRINCIPI GENERALI DELL'ELETTRONICA DIGITALE

CHIURAZZI ★ PERITO INDUSTRIALE ★ ODONTOTECNICO

1.1 - CARATTERISTICHE DELLA TECNICA DIGITALE

I circuiti elettronici possono funzionare in due modi diversi, cioè linearmente o in commutazione.

In particolare, se si considera un transistor, questi può funzionare come amplificatore, dando la possibilità di rendere in uscita un segnale ad un livello superiore rispetto a quello di entrata ma con il medesimo andamento, oppure come un interruttore elettronico che, come per modelli elettromeccanici, rende in uscita un segnale (tensione o corrente) ad un certo valore basso o alto a seconda che il transistor sia interdetto (aperto) o in saturazione (chiuso).

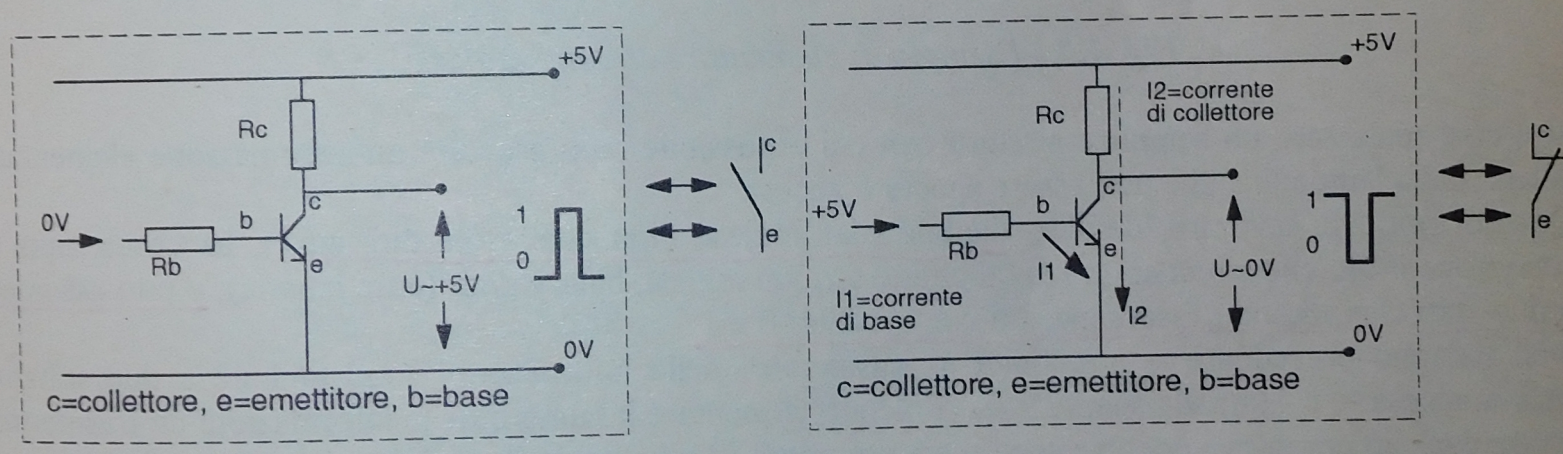


Fig. 1.1 - Funzionamento di un transistor come interruttore.

Questi due modi di fare lavorare i componenti elettronici permettono di suddividere l'elettronica in due parti:

- elettronica analogica, che contempla tutti i circuiti in cui i segnali variabili con continuità vengono elaborati in modo che in uscita vi sia un segnale con un andamento analogo a quello di ingresso (magari amplificato);
- elettronica digitale, che contempla tutti i circuiti in cui i segnali possono assumere due soli valori di tensione, alto (livello 1, H, SI) o basso (livello 0, L, NO), in questo caso se si devono trasmettere delle informazioni queste devono essere costituite da una serie di impulsi la cui ampiezza è legata al livello di tensione alto e basso.

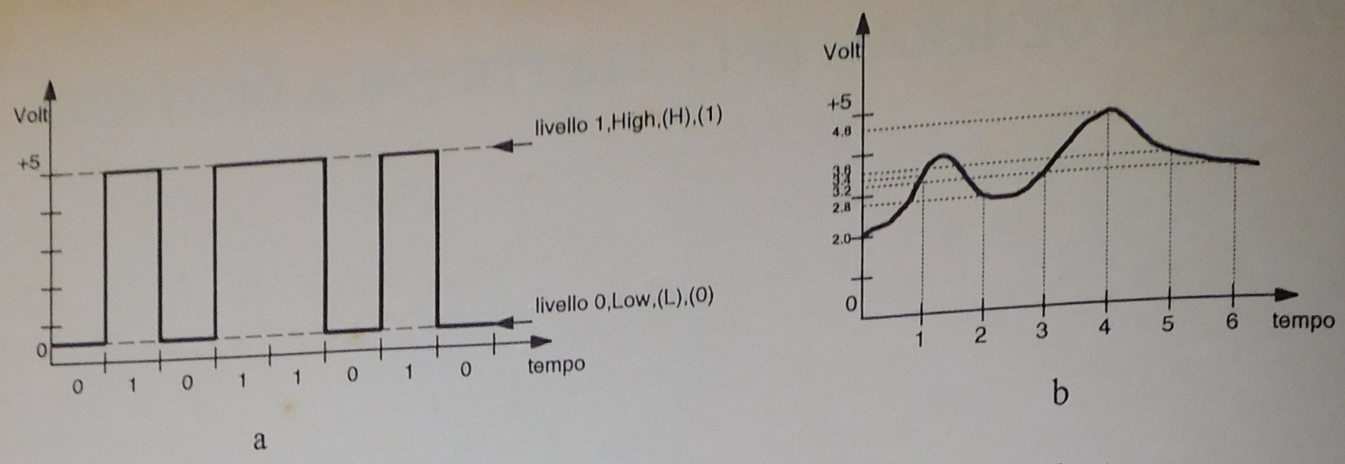
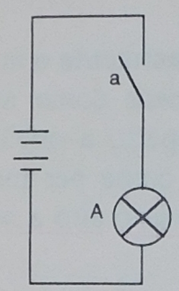


Fig. 1.2 - Rappresentazione di un segnale: a) digitale - b) analogico.

Nei circuiti elettrici sono già noti esempi di questo genere, infatti se si considera un circuito con una batteria, un interruttore e una lampadina, quando esso è aperto la lampadina è spenta e la tensione ai suoi capi è uguale a zero (livello 0), viceversa se l'interruttore è chiuso la lampadina è accesa e ai suoi capi abbiamo un valore di tensione più alto (livello 1).



STATO DELLA LAMPADA A	VALORE NUMERICO
0	0
1	1

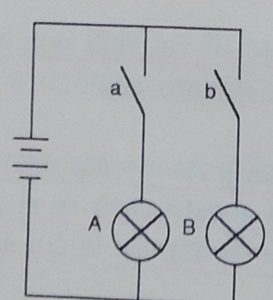
Fig. 1.3 - Esempio di elementare circuito digitale.

Si è così realizzato un semplice circuito con cui è possibile rappresentare un'informazione elementare, costituita dalla lampadina che può essere spenta o accesa.

Questo modo di lavorare, definito digitale (dall'inglese digit che vuole dire cifra), ha come unità di informazione il bit, che è una contrazione di due termini inglesi, binary digit (cifra binaria), e può assumere solo due stati che possono essere indicati con i numeri 0 e 1.

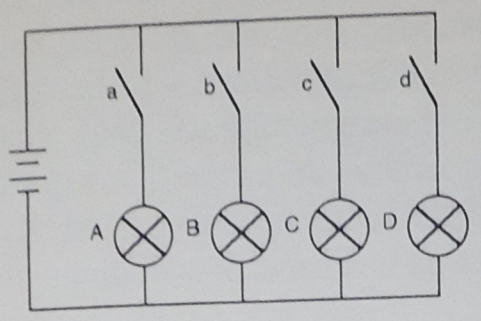
Nell'esempio precedente le possibilità di trasmettere delle informazioni sono limitate a due soltanto (lampada accesa = 1, lampada spenta = 0). Volendo aumentare il numero delle informazioni da trasmettere o inviare dati più complessi occorre accrescere il numero di circuiti elementari di cui si è fatto cenno.

Realizzando il circuito con due lampadine si potranno trasmettere quattro informazioni poichè quattro sono le possibili combinazioni che le due lampade possono avere, in modo analogo se le lampade sono quattro si avranno sedici combinazioni, cioè 2 elevato alla quarta potenza (2^4).



STATO DELLE LAMPADE A	B	VALORE NUMERICO
0	0	0
0	1	1
1	0	2
1	1	3

Fig. 1.4 - Esempio di elementare circuito digitale con due lampadine.



STATO DELLE LAMPADE				VALORE NUMERICO
A	B	C	D	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

Fig. 1.5 - Esempio di elementare circuito digitale con quattro lampadine.

1.2 - TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DEI CIRCUITI INTEGRATI

Il transistor è un componente elettronico molto piccolo, ma visibile ad occhio nudo.

La tecnologia negli ultimi anni ha consentito la realizzazione di dispositivi molto complessi, con dimensioni molto ridotte.

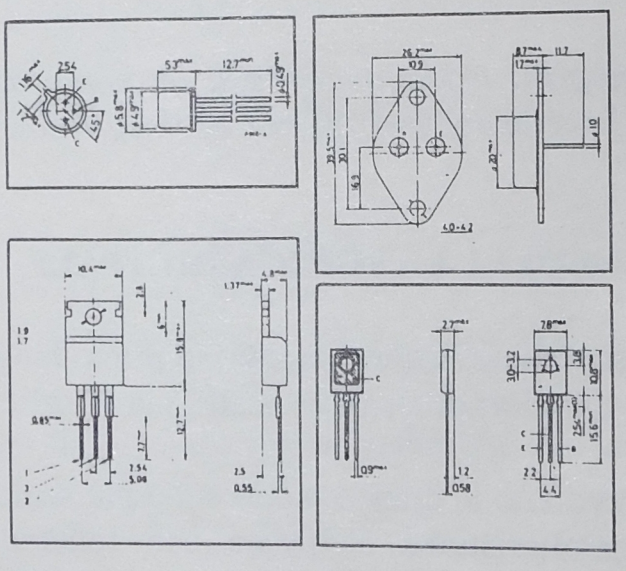


Fig. 1.6 - Forma e dimensioni di quattro transistor tra i più diffusi tipi di contenitori per transistor.

Questi dispositivi sono i circuiti integrati (IC, Integrated Circuit), costituiti da contenitori sia in plastica che in ceramica, contenenti una piccola piastra di silicio, materiale semiconduttore, con cui si costruiscono anche i transistor.

Il vantaggio offerto dai circuiti integrati consiste nel fatto che, invece di utilizzare dei componenti discreti e collegati esternamente, sfruttano una piastrina (chip) che contiene tutti i transistor e i relativi collegamenti.

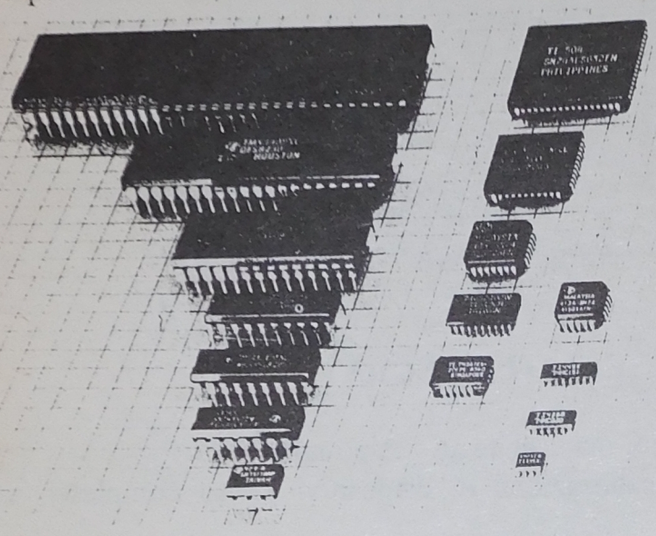
Durante il progetto dei circuiti integrati digitali, alcune apparecchiature convertono gli schemi logici (AND, OR, NOT) negli equivalenti schemi elettronici a transistor, questi ultimi infine vengono tracciati, mediante un processo fotolitografico, su una piastrina di silicio (chip).

Il vantaggio è notevole, in quanto lo spazio occupato dagli elementi attivi (transistor, diodi) si riduce fotograficamente a dimensioni dell'ordine dei micron, rendendo possibile l'integrazione di migliaia di funzioni logiche (vedi capitolo 2).

Per porte semplici si usa l'integrazione a bassa scala (SSI, Small Scale Integration), dato che i circuiti da costruire sul chip non sono molti; per funzioni più complesse si utilizza una integrazione a media scala (MSI, Medium Scale Integration).

Per realizzare circuiti integrati più complessi, come ad esempio i microprocessori, che rappresentano il "cervello" di un personal computer o di un PLC, si utilizzano tecnologie di integrazione a larga scala (LSI, Large Scale Integration; VLSI, Very Large Scale Integration; ULSI, Ultra Large Scale Integration).

Le dimensioni del contenitore non dipendono tanto dalla complessità del chip, quanto dal numero di funzioni che occorre fornirgli dall'esterno, in ingresso e uscita; un circuito integrato può avere pochi piedini (per esempio 8) oppure arrivare, come nel caso dei microprocessori, ad alcune centinaia (per esempio 168 e 238). Complessivamente tuttavia il chip occupa una superficie di pochi mm^2 (3-70 mm^2).



a

GRADI DI INTEGRAZIONE

TIPO	N. DI FUNZIONI	N. TRANSISTOR	AREA mmq
SSI	2-10	100	3
MSI	20-100	500	8
LSI	100-50000	100000	20
VLSI	50000-100000	250000	40
ULSI	100000-1000000	1000000	70

b

Fig. 1.7 - a) Circuiti integrati tradizionali posti di fronte ad integrati a montaggio superficiale SMD (Texas Instruments) - b) Gradi di integrazione.

1.3 - VANTAGGI E SVANTAGGI DELLA TECNICA DIGITALE

Il modo di lavorare dei circuiti digitali offre dei vantaggi: in primo luogo questi circuiti per un loro buon funzionamento non hanno bisogno di valori di tensione esatti, ma è sufficiente che la differenza di tensione fra il livello 1 e il livello 0 sia alta.

Inoltre i circuiti elettronici che lavorano in questo modo sono più semplici da realizzare ed i componenti da usare possono avere delle caratteristiche elettriche con tolleranze più alte, ciò nonostante le informazioni possono essere elaborate in modo molto preciso.

Nella tecnica digitale si utilizza poi la possibilità di memorizzare le informazioni per tempi molto lunghi, negli esempi precedenti invece si sono visti circuiti in grado di mantenere l'informazione binaria fintanto che non vengono cambiate le posizioni degli interruttori (a patto che non manchi l'alimentazione o brucino le lampadine).

I sistemi digitali hanno incrementato i loro pregi dopo la nascita dei circuiti integrati: è possibile realizzare circuiti ad alto grado di integrazione in modo economico; i circuiti analogici necessitano di induttanze, condensatori di elevata capacità e resistenze di valore preciso, che sono difficilmente realizzabili e piuttosto costosi in un circuiti integrato.

Accanto ai vantaggi visti precedentemente si hanno anche dei limiti, in particolare i segnali che si devono elaborare sono nella maggior parte dei casi di tipo analogico (controllo continuo di temperatura, pressione, peso, velocità, accelerazione, coppia, tensione, corrente, ecc.).

In questi casi l'uso di apparecchiature digitali (es. PLC, computer) comporta la necessità di trasformare i segnali analogici, provenienti per esempio da sensori, in segnali digitali e, dopo la loro elaborazione, di ritrasformarli in segnali analogici per poterli inviare a strumenti o attuatori. Questo tipo di conversione in alcuni casi può essere costosa e introdurre durante le conversioni delle imprecisioni.

Un'altra limitazione dei circuiti digitali è la minore velocità di trasmissione delle informazioni.

1.4 - SISTEMA BINARIO

Un sistema digitale opera, come si è già detto, utilizzando dispositivi che assumono durante il loro funzionamento solo due stati: 0 o 1.

Ad una apparecchiatura elettronica che opera in modo digitale (es. PLC, computer) possono arrivare dall'esterno informazioni di vario tipo: grandezze variabili in modo discontinuo provenienti da dispositivi tipo pulsanti, interruttori, finecorsa, transistor funzionanti in commutazione, TRIAC, ecc., grandezze variabili con continuità che rappresentano appunto segnali analogici provenienti da sensori di temperatura, pressione, livello, ecc., infine caratteri alfanumerici cioè lettere, cifre, punteggiatura, simboli speciali.

Se la grandezza è già in forma binaria non ci sono particolari problemi, in quanto all'apparecchiatura digitale arrivano dei segnali che risultano allo stato logico 1 sé l'interruttore è chiuso e allo stato logico 0 se è aperto, semmai sarà necessario adattare i livelli di tensione e di corrente tra l'apparecchiatura digitale e quella esterna che normalmente lavorano a grandezze elettriche diverse.

Se la grandezza è un segnale analogico, esso deve essere trasformato in segnale digitale, questo lo si ottiene rilevando ad intervalli di tempo costanti il valore numerico che la grandezza ha assunto e dando a ciascun valore una combinazione di bit.

Se infine la grandezza è un carattere dell'alfabeto basta associarlo ad una sequenza di bit, quindi ogni carattere sarà identificato in modo univoco da una sequenza di bit (vedere il codice ASCII).

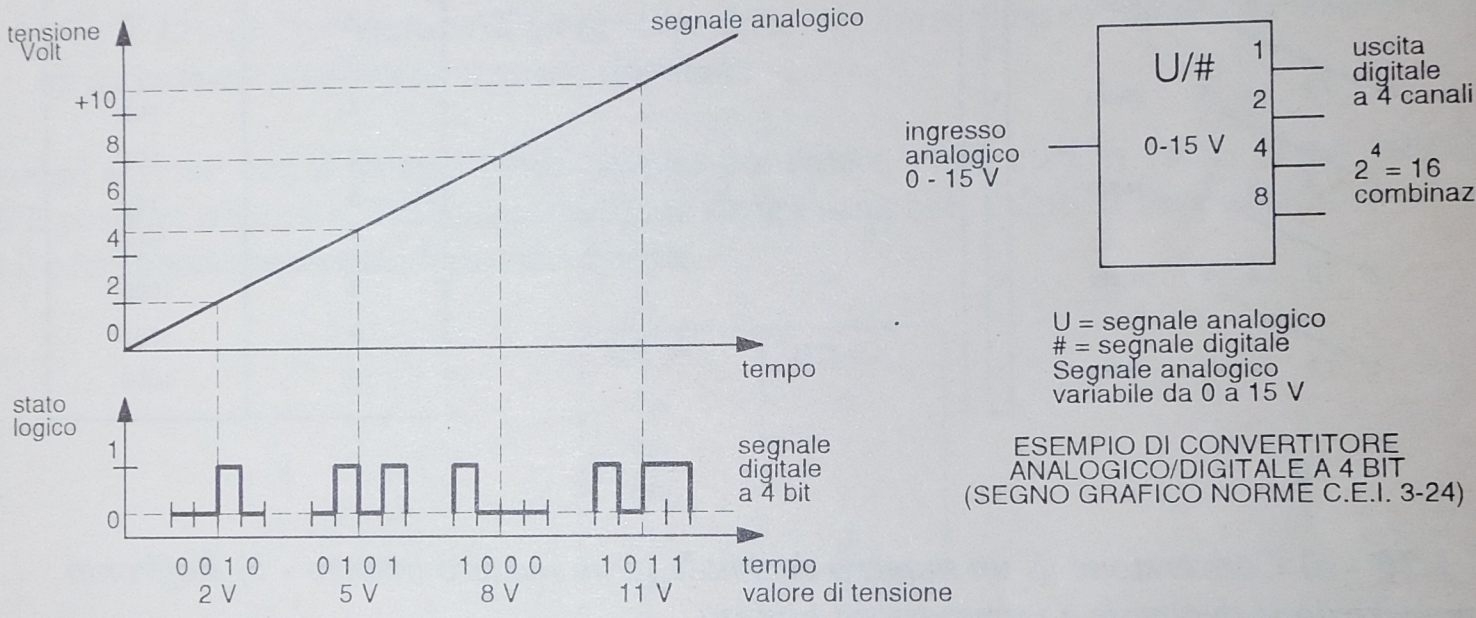


Fig. 1.8 - Trasformazione di un segnale analogico in uno di tipo digitale.

1.5 - SISTEMI DI NUMERAZIONE

N l sistema di numerazione decimale vengono usati dieci simboli (0, 1, 2, ... , 9) detti cifre; per definire numeri maggiori rispetto a tali cifre si usano combinazioni di esse, ogni cifra ha però un peso diverso in relazione alla posizione che essa assume nel numero.

Infatti è diverso leggere 1962 o 2691: le cifre sono le stesse, ma il loro valore cambia a seconda della posizione occupata, infatti la notazione decimale è di tipo posizionale, associa a ciascuna cifra del numero una potenza della base dieci che dipende dalla sua posizione: ad ogni cifra viene assegnato un dato peso che viene chiamato unità, decina, centinaia, ecc..

Nel sistema binario (cioè a base 2) la rappresentazione dei numeri avviene mediante l'uso di due simboli, 0 e 1, chiamati bit: i simboli 0 e 1 hanno un diverso peso in relazione alla posizione assunta da ciascuna cifra.

La conversione di un numero decimale in uno binario si può effettuare dividendo per due il numero decimale, quindi il quoziente trovato ancora per due sino ad ottenere come quoziente zero; il numero binario è dato dalla successione dei resti partendo dall'ultimo.

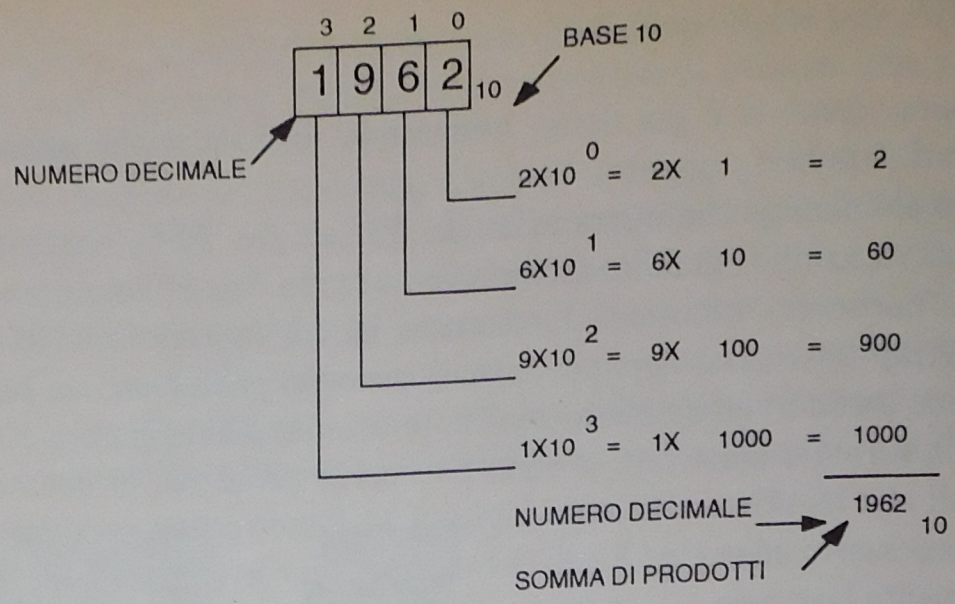


Fig. 1.9 - Struttura del sistema decimale.

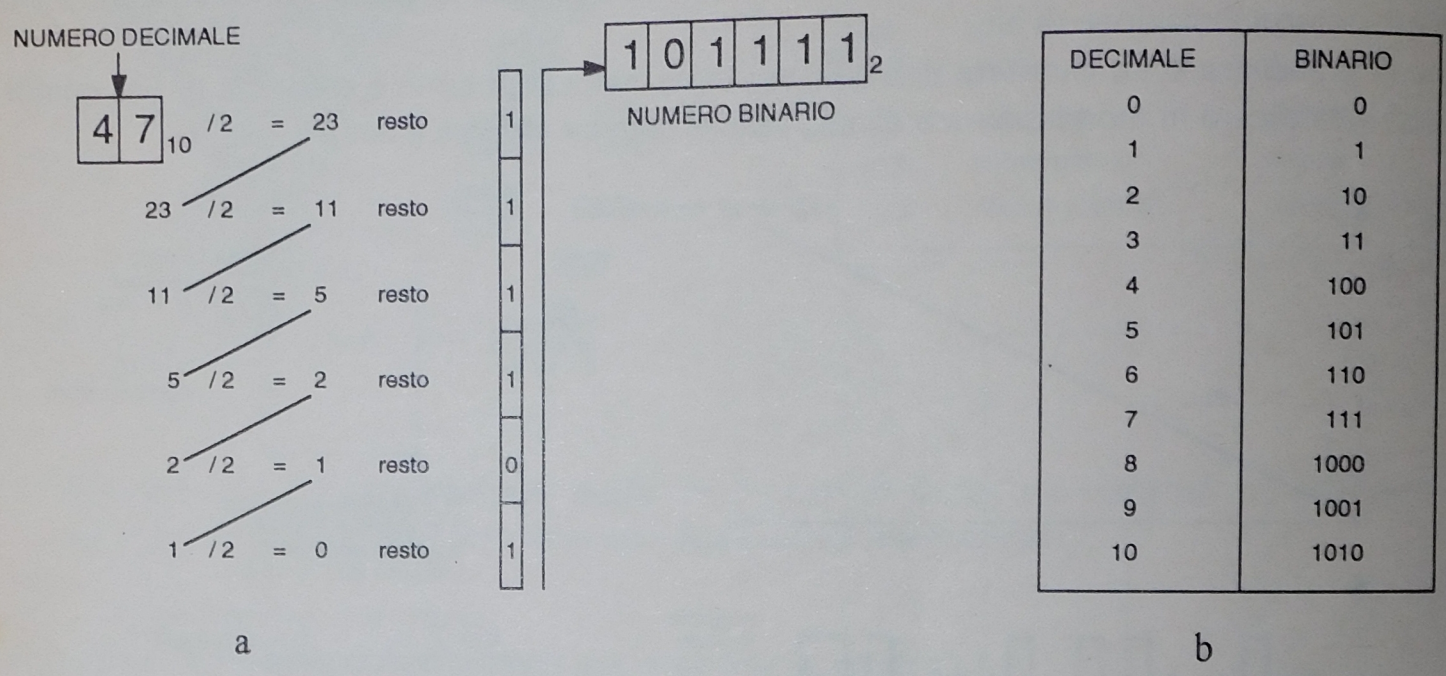


Fig. 1.10 - a) Conversione di un numero decimale in un numero binario - b) Raffronto fra numerazione decimale e numerazione binaria.

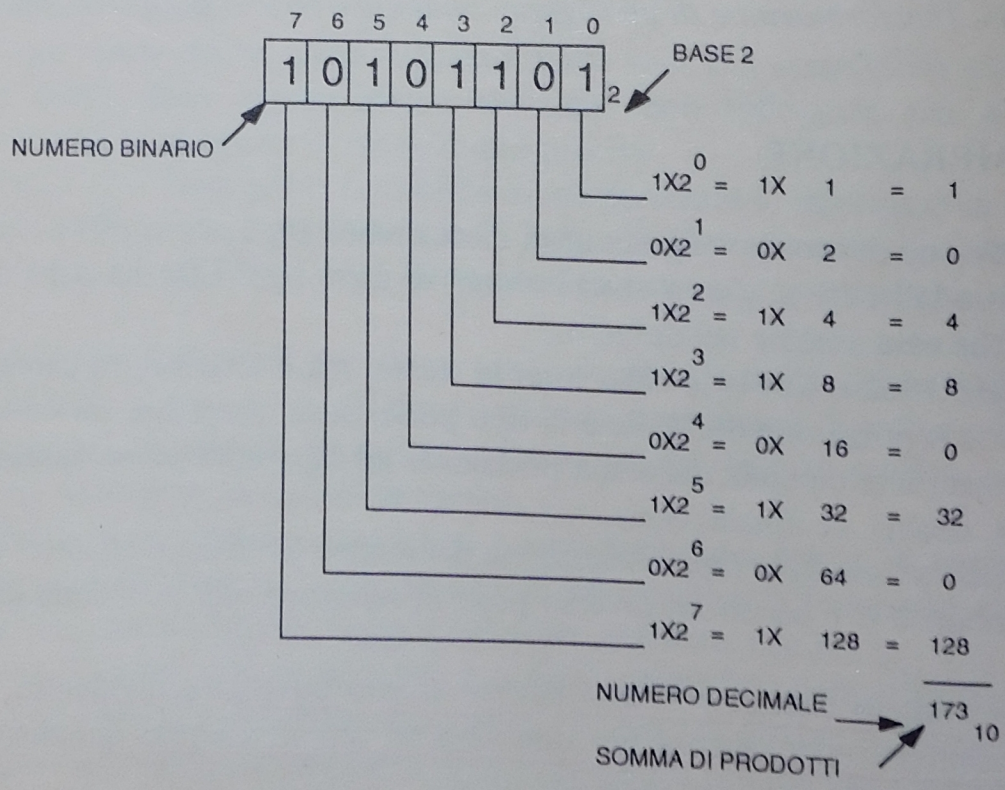


Fig. 1.11 - Conversione di un numero binario in un numero decimale.

1.6 - SISTEMA DI NUMERAZIONE OTTALE

Oltre al sistema di numerazione binario, viene impiegato il sistema in base 8 (sistema ottale).
Questo sistema utilizza otto cifre da 0 a 7, diversamente dal sistema decimale non utilizza quindi le cifre 8 e 9.

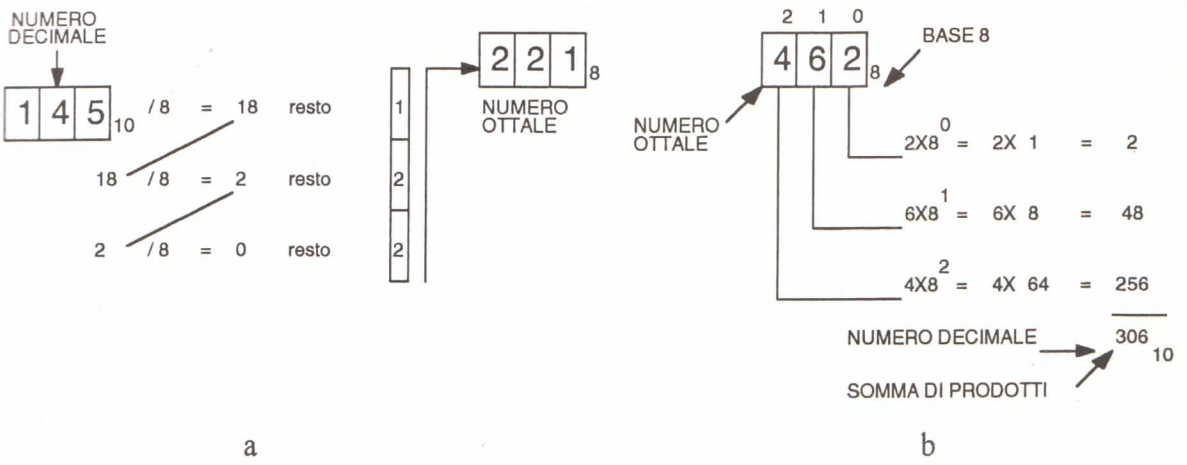


Fig. 1.12 - a) Conversione di un numero decimale in un numero ottale - b) Conversione di un numero ottale in un numero decimale.

I numeri espressi con il sistema ottale devono poi essere trasformati in valori binari affinchè i sistemi digitali li possano elaborare. Tale trasformazione risulta semplice, infatti si deve sostituire ad ogni cifra in base 8 il corrispondente blocco di tre cifre binarie.

BINARIO	OTTALE
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

Tab. 1.1 - Raffronto fra numerazione binaria e numerazione ottale.

L'impiego del sistema ottale è utile in quanto chi usa PLC o calcolatori trova più comodo lavorare con brevi sequenze di cifre in base 8 che lunghi gruppi di cifre binarie.
Alcuni PLC usano la numerazione ottale per identificare gli ingressi e le uscite e per indirizzare le memorie interne.

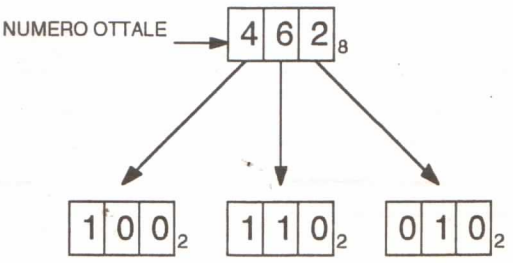
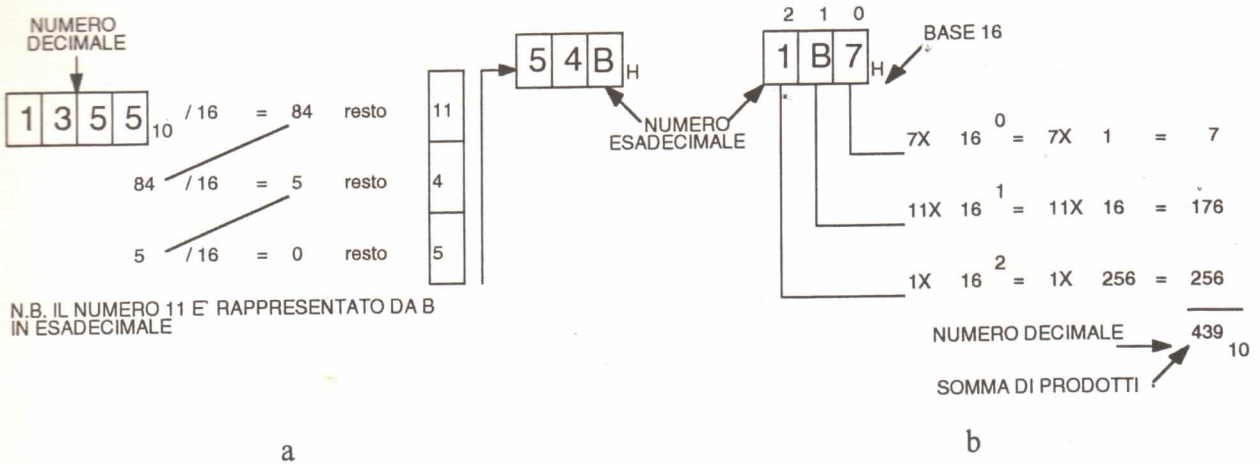


Fig. 1.13 - Conversione di un numero ottale in un numero binario.

1.7 - SISTEMA DI NUMERAZIONE ESADECIMALE

Come per la numerazione ottale anche questo sistema è usato nei calcolatori e nei PLC ed offre i medesimi vantaggi.

Il sistema esadecimale è in base 16, perciò oltre alle cifre da 0 a 9 vengono aggiunti i simboli A, B, C, D, E, F che vanno a rappresentare rispettivamente i numeri 10, 11, 12, 13, 14, 15.



a b

Fig. 1.14 - a) Conversione di un numero decimale in un numero esadecimale - b) Conversione di un numero esadecimale in un numero decimale.

DECIMALE	BINARIO	ESADECIMALE
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

Tab. 1.2 - Raffronto fra numerazione decimale, binaria e esadecimale.

L'utilità del sistema esadecimale sta nel fatto che si può suddividere una lunga (e difficile da ricordare) notazione binaria in blocchi di quattro bit, a cui corrisponde un dato valore esadecimale.

L'uso del sistema ottale o esadecimale dipende dal numero di bit che un'apparecchiatura è in grado di elaborare: se si lavora con 12 bit è utile dividere la cifra binaria in 4 gruppi di tre bit, per cui si sceglierà il sistema ottale, diversamente se si lavora con 16 bit è utile dividerli in 4 gruppi di quattro bit ciascuno, in questo caso si sceglierà il sistema esadecimale.

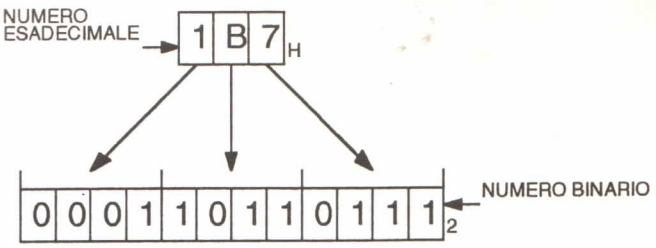


Fig. 1.15 - Conversione di un numero esadecimale in un numero binario.

1.8 - CODIFICAZIONE

Quando si trasforma un valore numerico dato in forma decimale in uno in forma binaria si effettua una conversione, si fa cioè corrispondere un numero decimale ad un gruppo di bit.

Questo insieme di bit viene chiamato "parola" o word, il numero di bit costituisce la lunghezza della parola.

Nei computer e nei PLC il numero di bit che costituisce una word è in genere 4, 8, 16 o 32, dipende comunque dal tipo di apparecchiatura.

Generalmente viene definito nibble un gruppo di bit pari a quattro, byte un gruppo di bit pari a otto e word un insieme di 16 o 32 bit.

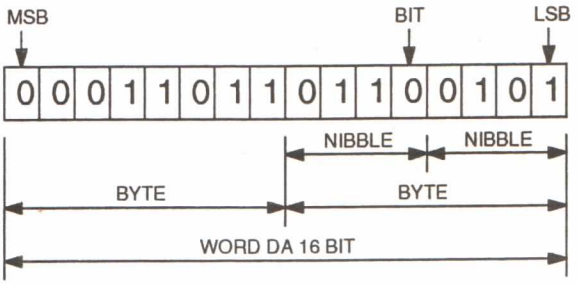


Fig. 1.16 - Esempio di word da 16 bit.

In una word ogni bit ha un proprio peso in base alla posizione che occupa nell'ambito della parola: il primo bit a sinistra è detto MSB (bit più significativo), mentre il primo bit sulla destra è detto LSB (bit meno significativo); essi determinano rispettivamente la più grande e la più piccola variazione del numero decimale.

Per trasformare un numero decimale in numero binario si può operare nel modo visto precedentemente, però seguendo questo metodo (codice binario puro) la lunghezza della word è variabile a seconda del valore della cifra decimale.

In particolare se N è il numero decimale e n è il numero di bit necessari per poterlo rappresentare, si ha

$$N \leq 2^n$$

Ad esempio se il numero decimale è 18 saranno necessari 5 bit in quanto n = 5 è il più piccolo valore che soddisfa la relazione, infatti $2^5 = 32$ per cui $18 < 32$, 5 bit sono sufficienti per indicare il numero 18.

Quando si devono rappresentare numeri decimali di valore elevato, le word diventano molto lunghe e difficili da gestire, quindi si usano dei codici per poterli rappresentare meglio e con maggiore facilità.

1.9 - CODICE BCD 8-4-2-1

Un codice molto usato per rappresentare numeri decimali con sequenze di 0 e 1 è il codice BCD (Binary Coded Decimal), in esso si fa corrispondere alle nove cifre decimali una combinazione di 4 bit i cui pesi sono 8, 4, 2, 1.

BCD 8-4-2-1	DECIMALE
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9

***Tab. 1.3** - Raffronto fra rappresentazione in codice BCD 8-4-2-1 e numeri decimali da 0 a 9.*

Sino al numero 9 il codice BCD coincide con il codice binario puro; per numeri maggiori di 9, mentre il codice binario puro richiederebbe un numero di bit definito dalla relazione $2^n \geq N$, il codice BCD richiede altri gruppi di 4 bit quante sono le cifre che vanno a costituire il numero decimale.

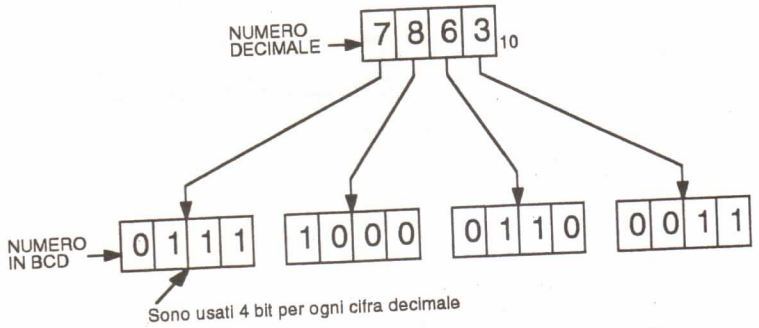


***Fig. 1.17** - Rappresentazione in codice BCD di un numero decimale.*

Le applicazioni tipiche del codice BCD nei PLC comprendono l'inserimento di dati (tempi, volumi, pesi, ecc.) per mezzo di preselettori, la visualizzazione di dati mediante l'uso di display a sette segmenti, l'acquisizione, previa conversione dal codice Gray, della posizione angolare mediante encoder assoluti e infine le istruzioni del PLC utilizzate per lavorare con grandezze analogiche.

1.10 - CODICE GRAY

Un altro tipo di codice è il codice GRAY, sempre a 4 bit, che presenta alcune caratteristiche non presenti nel codice BCD, infatti il passaggio da una word ad un'altra adiacente fa cambiare un solo bit alla volta.

Inoltre le sequenze di bit, a parte il bit più a sinistra, si presentano in modo speculare rispetto alla linea tratteggiata posta tra i corrispondenti numeri decimali 7 e 8.

Queste caratteristiche fanno sì che questo codice si presti bene per i convertitori analogico-digitali, in quanto consente di ridurre gli errori di conversione, e nei trasduttori di posizione (encoder assoluti) per determinare la posizione angolare, ma non altrettanto per operazioni aritmetiche in quanto esse risulterebbero difficoltose da eseguire.

VALORE DECIMALE	BINARIO	OTTALE		ESADECIMALE		CODICE BCD 8-4-2-1		CODICE GRAY
0	0000	0	000	0	0000		0000	0000
1	0001	1	001	1	0001		0001	0001
2	0010	2	010	2	0010		0010	0011
3	0011	3	011	3	0011		0011	0010
4	0100	4	100	4	0100		0100	0110
5	0101	5	101	5	0101		0101	0111
6	0110	6	110	6	0110		0110	0101
7	0111	7	111	7	0111		0111	0100
8	1000	10	001 000	8	1000		1000	1100
9	1001	11	001 001	9	1001		1001	1101
10	1010	12	001 010	A	1010	0001	0000	1111
11	1011	13	001 011	B	1011	0001	0001	1110
12	1100	14	001 100	C	1100	0001	0010	1010
13	1101	15	001 101	D	1101	0001	0011	1011
14	1110	16	001 110	E	1110	0001	0100	1001
15	1111	17	001 111	F	1111	0001	0101	1000

***Tab. 1.4** - Raffronto tra valori numerici espressi nei sistemi decimale, binario, ottale, esadecimale, codice BCD 8-4-2-1 e codice Gray.*

1.11 - CODICE ASCII

Per rappresentare oltre ai numeri anche le lettere dell'alfabeto, la punteggiatura, i simboli speciali (parentesi, asterischi, simboli di maggiore o minore, ecc.) e i caratteri di controllo è largamente usato il codice ASCII (American Standard Code for Information Interchange).

Questo codice può essere a 7 o 8 bit, con i quali si hanno rispettivamente 128 o 256 combinazioni a cui corrispondono 128 o 256 caratteri (la tabella dei codici ASCII a 7 bit è disponibile a pagina 1.12 mentre quella a 8 bit può essere consultata a pagina 1.13).

I primi 32 codici (numeri da 0 a 31) sono noti come caratteri di controllo. Non si possono stampare, nè appaiono sui visualizzatori, ma servono a controllare un terminale o una stampante, eseguendo varie funzioni, come ad esempio lo spostamento della posizione di stampa alla riga successiva.

In genere la memorizzazione dei testi in un calcolatore viene effettuato mediante il codice ASCII, trasmettendo, per esempio, i bit designati in ASCII per la lettera "a" ad un computer; questo lo mostrerà sullo schermo come "a", lo memorizzerà come "a", ecc. (quei bit nel sistema binario corrispondono a 1100001, equivalente al numero decimale 97 e all'esadecimale 61).

Questo codice viene largamente utilizzato per lo scambio delle informazioni tra diverse apparecchiature, per esempio tra PLC e personal computer, tra PLC e sue periferiche.

I costruttori di microcomputer utilizzano un altro bit per definire personali espansioni del codice ASCII.

Il codice ASCII esteso a 8 bit consente di rappresentare altri 128 caratteri, che sono normalmente costituiti da particolari simboli grafici, lettere di linguaggi stranieri, lettere dell'alfabeto greco e simboli matematici o tecnici.

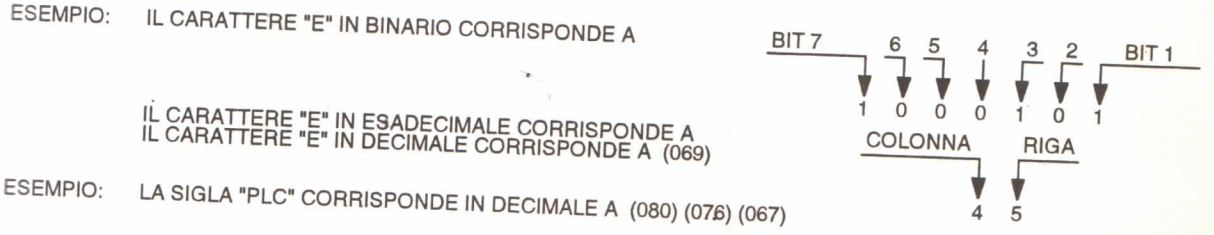


***Fig. 1.18** - Esempio di uso della tabella del codice ASCII a 7 bit.*

		BIT 7	0	0	0	0	1	1	1	1
		BIT 6	0	0	1	1	0	0	1	1
		BIT 5	0	1	0	1	0	1	0	1
BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	RIGA \ COLONNA	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL (000)	DLE (016)	SP (032)	0 (048)	@ (064)	P (080)	` (096)	p (112)
0	0	0	1	1	SCH (001)	DC1 (017)	! (033)	1 (049)	A (065)	Q (081)	a (097)	q (113)
0	0	1	0	2	STX (002)	DC2 (018)	" (034)	2 (050)	B (066)	R (082)	b (098)	r (114)
0	0	1	1	3	ETX (003)	DC3 (019)	# (035)	3 (051)	C (067)	S (083)	c (099)	s (115)
0	1	0	0	4	EOT (004)	DC4 (020)	$ (036)	4 (052)	D (068)	T (084)	d (100)	t (116)
0	1	0	1	5	ENQ (005)	NAK (021)	% (037)	5 (053)	E (069)	U (085)	e (101)	u (117)
0	1	1	0	6	ACK (006)	SYN (022)	& (038)	6 (054)	F (070)	V (086)	f (102)	v (118)
0	1	1	1	7	BEL (007)	ETB (023)	' (039)	7 (055)	G (071)	W (087)	g (103)	w (119)
1	0	0	0	8	BS (008)	CAN (024)	((040)	8 (056)	H (072)	X (088)	h (104)	x (120)
1	0	0	1	9	HT (009)	EM (025)	) (041)	9 (057)	I (073)	Y (089)	i (105)	y (121)
1	0	1	0	A	LF (010)	SUB (026)	* (042)	: (058)	J (074)	Z (090)	j (106)	z (122)
1	0	1	1	B	VT (011)	ESC (027)	+ (043)	; (059)	K (075)	[(091)	k (107)	{ (123)
1	1	0	0	C	FF (012)	FS (028)	, (044)	< (060)	L (076)	\ (092)	l (108)	| (124)
1	1	0	1	D	CR (013)	GS (029)	- (045)	= (061)	M (077)	] (093)	m (109)	} (125)
1	1	1	0	E	SO (014)	RS (030)	. (046)	> (062)	N (078)	^ (094)	n (110)	~ (126)
1	1	1	1	F	SI (015)	US (031)	/ (047)	? (063)	O (079)	_ (095)	o (111)	DEL (127)

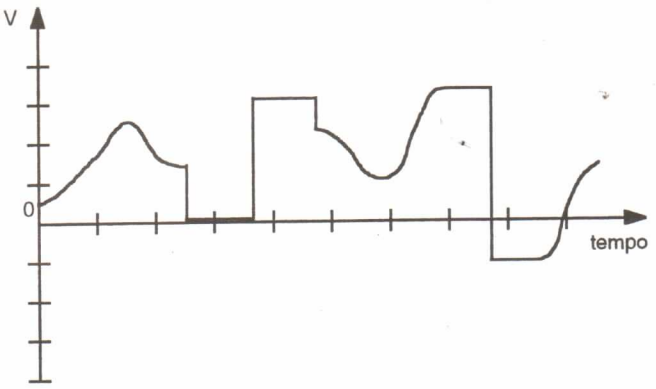
***Tab. 1.5** - Tabella del codice ASCII a 7 bit per un totale di 128 elementi differenti, si rappresentano 32 caratteri di controllo e 96 caratteri stampabili.*

DEC	HEX	CARATTERE	DEC	HEX	CARATTERE	DEC	HEX	CARATTERE	DEC	HEX	CARATTERE
000	00	(NULL)	064	40	@	128	80	Ç	192	C0	└
001	01	(SOH)	065	41	A	129	81	ü	193	C1	┴
002	02	(STX)	066	42	B	130	82	é	194	C2	┬
003	03	(ETX)	067	43	C	131	83	â	195	C3	├
004	04	(EOT)	068	44	D	132	84	ä	196	C4	─
005	05	(ENQ)	069	45	E	133	85	à	197	C5	┼
006	06	(ACK)	070	46	F	134	86	å	198	C6	╞
007	07	(BEL)	071	47	G	135	87	ç	199	C7	╟
008	08	(BS)	072	48	H	136	88	ê	200	C8	╚
009	09	(HT)	073	49	I	137	89	ë	201	C9	╔
010	0A	(LF)	074	4A	J	138	8A	è	202	CA	╩
011	0B	(VT)	075	4B	K	139	8B	ï	203	CB	╦
012	0C	(FF)	076	4C	L	140	8C	î	204	CC	╠
013	0D	(CR)	077	4D	M	141	8D	ì	205	CD	═
014	0E	(SO)	078	4E	N	142	8E	Ä	206	CE	╬
015	0F	(SI)	079	4F	O	143	8F	Å	207	CF	╧
016	10	(DLE)	080	50	P	144	90	É	208	D0	╨
017	11	(DC1)	081	51	Q	145	91	æ	209	D1	╤
018	12	(DC2)	082	52	R	146	92	Æ	210	D2	╥
019	13	(DC3)	083	53	S	147	93	ô	211	D3	╙
020	14	(DC4)	084	54	T	148	94	ö	212	D4	╘
021	15	(NAK)	085	55	U	149	95	ò	213	D5	╒
022	16	(SYN)	086	56	V	150	96	û	214	D6	╓
023	17	(ETB)	087	57	W	151	97	ù	215	D7	╫
024	18	(CAN)	088	58	X	152	98	ÿ	216	D8	╪
025	19	(EM)	089	59	Y	153	99	Ö	217	D9	┘
026	1A	(SUB)	090	5A	Z	154	9A	Ü	218	DA	┌
027	1B	(ESC)	091	5B	[	155	9B	¢	219	DB	▐
028	1C	(FS)	092	5C	\	156	9C	£	220	DC	▄
029	1D	(GS)	093	5D	]	157	9D	¥	221	DD	▌
030	1E	(RS)	094	5E	^	158	9E	₧	222	DE	▀
031	1F	(US)	095	5F	_	159	9F	ƒ	223	DF	▀
032	20	(SPACE)	096	60	`	160	A0	á	224	E0	α
033	21	!	097	61	a	161	A1	í	225	E1	ß
034	22	"	098	62	b	162	A2	ó	226	E2	Γ
035	23	#	099	63	c	163	A3	ú	227	E3	π
036	24	$	100	64	d	164	A4	ñ	228	E4	Σ
037	25	%	101	65	e	165	A5	Ñ	229	E5	σ
038	26	&	102	66	f	166	A6	ª	230	E6	µ
039	27	'	103	67	g	167	A7	º	231	E7	τ
040	28	(	104	68	h	168	A8	¿	232	E8	Φ
041	29	)	105	69	i	169	A9	⌐	233	E9	Θ
042	2A	*	106	6A	j	170	AA	¬	234	EA	Ω
043	2B	+	107	6B	k	171	AB	½	235	EB	δ
044	2C	,	108	6C	l	172	AC	¼	236	EC	∞
045	2D	-	109	6D	m	173	AD	¡	237	ED	ø
046	2E	.	110	6E	n	174	AE	«	238	EE	ε
047	2F	/	111	6F	o	175	AF	»	239	EF	∩
048	30	0	112	70	p	176	B0	░	240	F0	≡
049	31	1	113	71	q	177	B1	▒	241	F1	±
050	32	2	114	72	r	178	B2	▓	242	F2	≥
051	33	3	115	73	s	179	B3	│	243	F3	≤
052	34	4	116	74	t	180	B4	┤	244	F4	⌠
053	35	5	117	75	u	181	B5	╡	245	F5	⌡
054	36	6	118	76	v	182	B6	╢	246	F6	÷
055	37	7	119	77	w	183	B7	╖	247	F7	≈
056	38	8	120	78	x	184	B8	╕	248	F8	°
057	39	9	121	79	y	185	B9	╣	249	F9	∙
058	3A	:	122	7A	z	186	BA	║	250	FA	·
059	3B	;	123	7B	{	187	BB	╗	251	FB	√
060	3C	<	124	7C	|	188	BC	╝	252	FC	ⁿ
061	3D	=	125	7D	}	189	BD	╜	253	FD	²
062	3E	>	126	7E	~	190	BE	╛	254	FE	■
063	3F	?	127	7F	⌂	191	BF	┐	255	FF	(BLANK)

Tab. 1.6 - Set standard del codice ASCII esteso con le loro equivalenze decimali ed esadecimali.

1.12 - DOMANDE

1.1) Il grafico sotto riportato si riferisce ad un segnale analogico o digitale? Perchè?



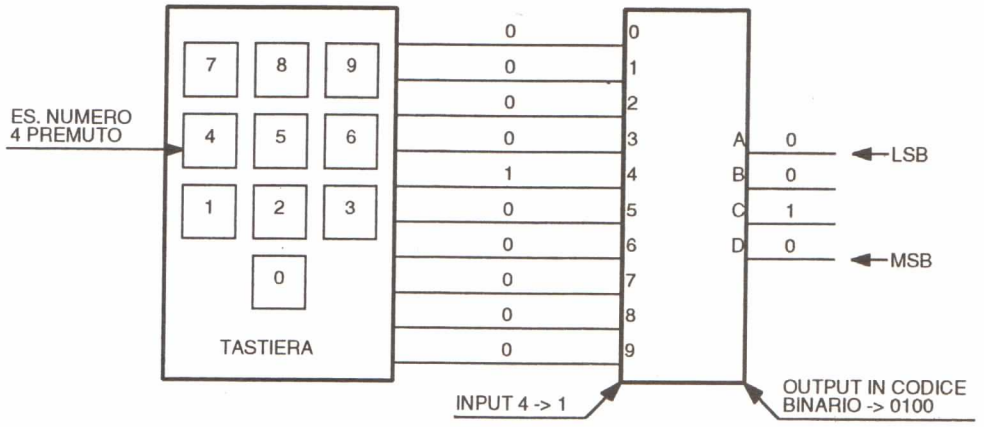
1.2) Che cosa è un segnale digitale? Quali le sue differenze rispetto ai segnali analogici?
1.3) Che cosa è un circuito integrato? Quali i suoi vantaggi?
1.4) Quali sono i vantaggi e gli svantaggi della tecnica digitale?
1.5) Perchè sono importanti i circuiti integrati digitali?
1.6) Che cosa è il sistema binario?
1.7) Quali sistemi di numerazione conosci?
1.8) Che cosa è il codice binario puro? Qual è il suo svantaggio principale?
1.9) A che cosa serve la codificazione?
1.10) Quali codici conosci?
1.11) Che cosa consente di rappresentare il codice BCD?
1.12) Che cosa consente di rappresentare il codice ASCII?
1.11) Indicare che cosa rappresentano le seguenti parole: Bit, Word, MSB, Byte, LSB.
1.12) Una word può essere costituita da quattro bit?
1.13) Quali dispositivi utilizzano il codice Gray?
1.14) A che cosa può servire il codice ASCII?

1.13 - ESERCIZI

1.1) Rappresentare in un diagramma cartesiano un segnale analogico e un segnale digitale.
1.2) Convertire i seguenti numeri decimali in numeri binari: 7, 19, 28, 46, 57, 86, 94, 112
1.3). Convertire i seguenti numeri binari in numeri decimali: 10, 100, 111, 1011, 1100, 10010, 10101.
1.4) Convertire i seguenti numeri ottali in numeri decimali: 36, 74, 120, 156, 180.
1.5) Convertire i seguenti numeri decimali in numeri ottali: 7, 19, 28, 46, 57, 125 154, 180.
1.6) Convertire i seguenti numeri ottali in numeri binari: 78, 130, 250, 348.
1.7) Convertire i seguenti numeri esadecimali in numeri decimali: 5A, C7, 9B5, 1A6.
1.8) Convertire i seguenti numeri decimali in numeri esadecimali: 7, 19, 28, 46, 57, 86, 94, 112, 150.
1.9) Convertire i seguenti numeri esadecimali in numeri binari: 4C, E8, 6D2, 31B.
1.10) Rappresentare in codice BCD i seguenti numeri decimali: 25, 146, 398, 7.
1.11) Rappresentare i numeri decimali 12, 18, 25, 36 nei seguenti sistemi di numerazione: binario, ottale, esadecimale, BCD.
1.12) In un sistema di numerazione esadecimale la lettera F equivale al numero decimale 15. A quale numero esadecimale corrisponde il numero decimale 16?

1.13) Rappresentare utilizzando il codice ASCII i seguenti caratteri: A, B, a, 2, !, G, \, k, L.

1.14) Il circuito mostrato nella seguente figura converte un numero decimale proveniente da una tastiera in un numero in codice binario. Indicare lo stato logico delle uscite A, B, C, D quando vengono premuti i seguenti tasti: 2 - 5 - 7 - 8.



2. - FONDAMENTI DI LOGICA

2.1 - GENERALITÀ

I PLC, come tutte le apparecchiature digitali, operano secondo una logica binaria, in cui esistono due soli stati: H (High) o L (Low), 1 o 0, Sì o No, ecc.

Questo concetto viene applicato alle porte logiche che possono essere utili per prendere delle decisioni.



Fig. 2.1 - a) La luce in una stanza può essere accesa soltanto se l'interruttore è chiuso e (AND) se la lampada è posta correttamente nel suo attacco - b) Il risveglio di un individuo può essere provocato dalla suoneria di una sveglia o (OR) da un rumore esterno o (OR) dalla caduta del soffitto.

Una porta logica è costituita da uno o più ingressi e da un'unica uscita.

Esiste una parte della matematica che si occupa dello studio dei sistemi binari, chiamata algebra di Boole: si applica a tutti i sistemi che lavorano su variabili che possono assumere solo due valori.

2.2 - OPERATORI FONDAMENTALI: AND, OR, NOT

Ogni operazione di un'apparecchiatura digitale, anche la più complessa, è basata su tre operatori logici fondamentali: AND, OR, NOT. Ogni operatore logico ha un suo simbolo normalizzato, che viene usato per fare una rappresentazione grafica di un determinato problema logico; vengono utilizzati inoltre dei segnali applicati agli ingressi chiamati A, B, C, ecc. che possono assumere, come si è detto, solo due valori: valore 1 se è presente il segnale o se è verificato quel determinato evento, valore 0 se il segnale non è presente o se quell'evento non è verificato. Su tali variabili di ingresso agisce l'operatore logico generando un'uscita chiamata Q, che potrà avere solo valore 1 oppure valore 0.

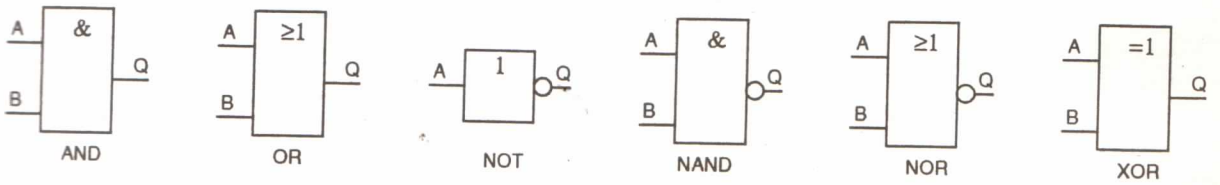
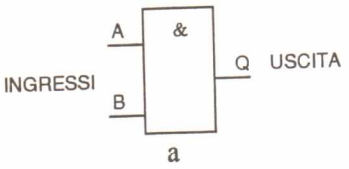


Fig. 2.2 - Segni grafici per la rappresentazione di porte logiche (norme CEI 3-26).

Nell'algebra di Boole i segnali in ingresso A, B, C, ecc. sono chiamati variabili booleane, con esse è possibile scrivere delle equazioni che rappresenteranno determinati problemi logici.

Alle variabili booleane vengono applicate degli operatori che provocano trasformazioni dei valori secondo particolari regole che sono definite nelle tabelle di verità: ogni operatore ha la sua tabella di verità.

L'operatore logico AND viene chiamato anche prodotto booleano o prodotto logico, si applica ad almeno due variabili ed è caratterizzato dalla seguente tabella di verità:



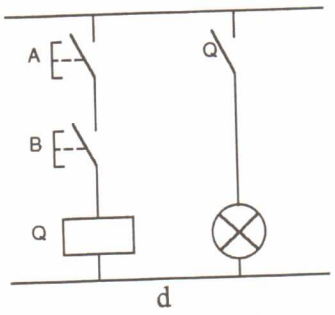
a

A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

b

```
Q = A AND B
Q = A * B
```

c



d

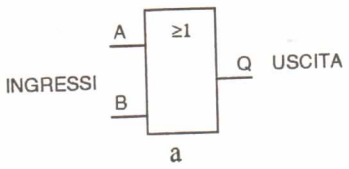
PULSANTE A	PULSANTE B	LAMPADA
APERTO	APERTO	SPENTA
APERTO	CHIUSO	SPENTA
CHIUSO	APERTO	SPENTA
CHIUSO	CHIUSO	ACCESA

e

Fig. 2.3 - Circuito logico AND - a) AND con due ingressi: segno grafico - b) Tabella della verità - c) Espressione algebrica - d) Schema equivalente a contatti - e) Tabella della verità.

Come si può notare dalla tabella, il prodotto logico Q di due o più variabili booleane vale 1 soltanto quando tutte le variabili A, B, C, ecc. valgono 1, viceversa vale 0.

L'operatore OR, chiamato anche somma booleana o somma logica, si applica ad almeno due variabili ed è caratterizzato dalla seguente tabella di verità:



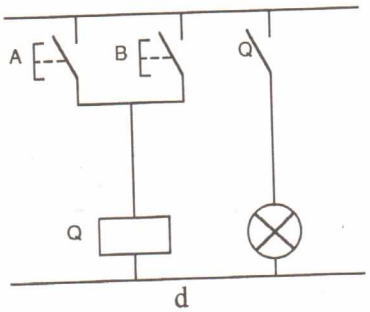
a

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

b

```
Q = A OR B
Q = A + B
```

c



d

PULSANTE A	PULSANTE B	LAMPADA
APERTO	APERTO	SPENTA
APERTO	CHIUSO	ACCESA
CHIUSO	APERTO	ACCESA
CHIUSO	CHIUSO	ACCESA

e

Fig. 2.4 - Circuito logico OR - a) OR con due ingressi: segno grafico - b) Tabella della verità - c) Espressione algebrica - d) Schema equivalente a contatti - e) Tabella della verità.

Come si può notare dalla tabella, la somma logica Q di due o più variabili vale 0 solo se tutte le variabili valgono 0 mentre vale 1 se almeno una delle variabili vale 1.

L'operatore NOT si applica invece ad una sola variabile booleana, trasformando la variabile secondo la seguente tabella di verità:

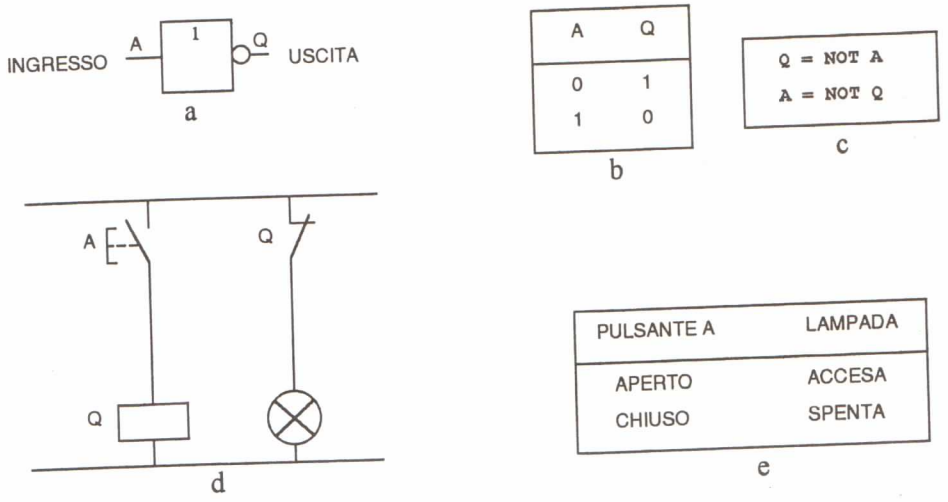


Fig. 2.5 - Circuito logico NOT - a) Segno grafico - b) Tabella della verità - c) Espressione algebrica - d) Schema equivalente a contatti - e) Tabella della verità.

In pratica, applicando l'operatore NOT ad una variabile, tale variabile cambia valore: se valeva 1 dopo la trasformazione varrà 0 e viceversa.

Combinando opportunamente gli operatori AND, OR con l'operatore NOT si possono ottenere gli operatori NAND, NOR e XOR che sono caratterizzati dalle seguenti tabelle di verità:

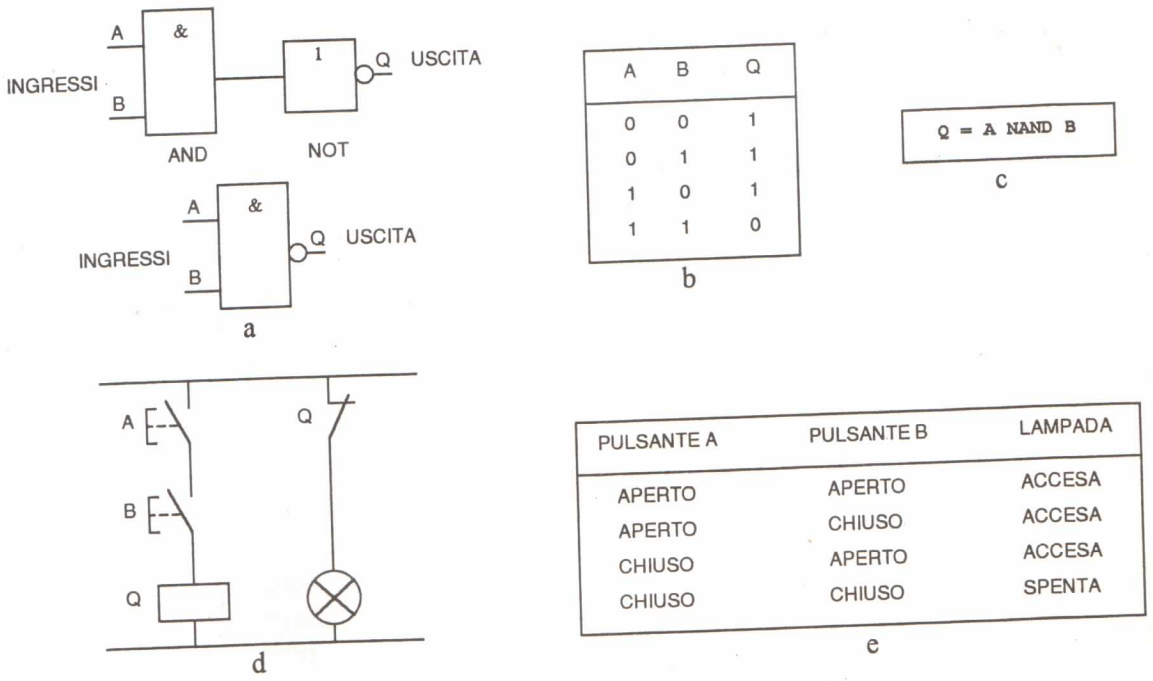
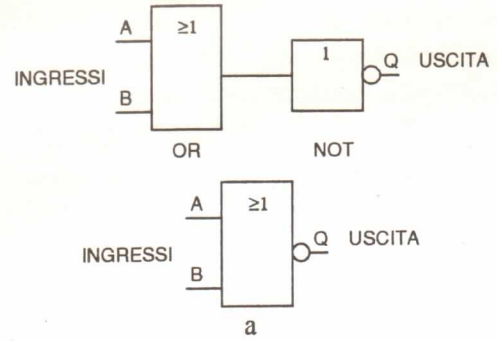


Fig. 2.6 - Circuito logico NAND - a) NAND con due ingressi segno grafico - b) Tabella della verità - c) Espressione algebrica - d) Schema equivalente a contatti - e) Tabella della verità.



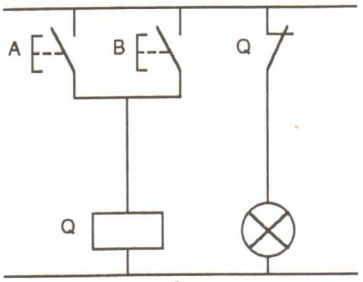
a

A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

b

Q = A NOR B

c

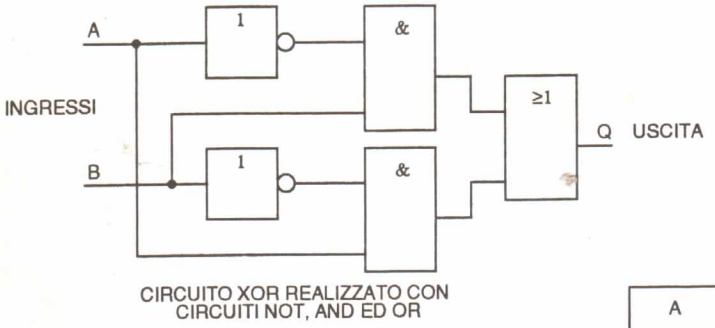


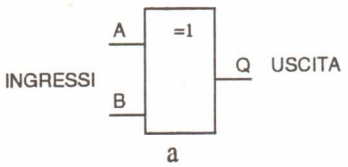
d

PULSANTE A	PULSANTE B	LAMPADA
APERTO	APERTO	ACCESA
APERTO	CHIUSO	SPENTA
CHIUSO	APERTO	SPENTA
CHIUSO	CHIUSO	SPENTA

e

Fig. 2.7 - Circuito logico NOR - a) NOR con due ingressi segno grafico - b) Tabella della verità - c) Espressione algebrica - d) Schema equivalente a contatti - e) Tabella della verità.





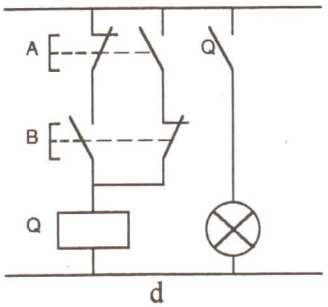
a

A	B	Q
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

b

Q = A XOR B
Q = A ⊕ B

c



d

PULSANTE A	PULSANTE B	LAMPADA
NON PREMUTO	NON PREMUTO	SPENTA
PREMUTO	NON PREMUTO	ACCESA
NON PREMUTO	PREMUTO	ACCESA
PREMUTO	PREMUTO	SPENTA

e

Fig. 2.8 - Circuito logico XOR - a) OR esclusivo o XOR segno grafico - b) Tabella della verità - c) Espressione algebrica - d) Schema equivalente a contatti - e) Tabella della verità.

Come si è visto, si utilizza il segno di moltiplicazione per indicare l'operazione di AND, il segno di addizione per indicare una operazione di OR, una barra posta sopra alle lettere A, B, C, ecc. Q per indicare l'operazione di NOT.

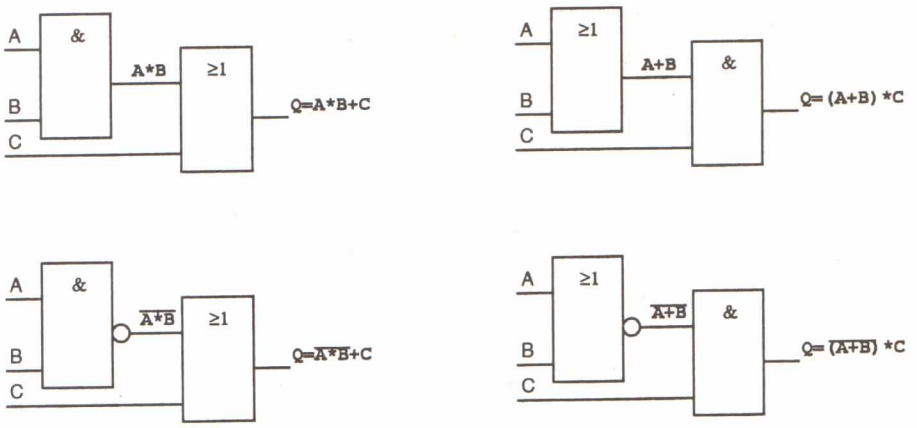


Fig. 2.9 - Esempi di combinazioni di porte logiche.

2.3 - MEMORIE

Una memoria elettronica è un circuito bistabile (flip-flop), cioè con due stati stabili, che può essere commutato da uno stato all'altro applicando dei segnali di comando.

Il tipo più semplice di memoria è costituito da due porte NOR a connessioni incrociate.

L'uscita di questa memoria viene prelevata dal terminale Q e il suo complemento logico è disponibile sul terminale $\overline{Q}$.

Il circuito funziona nel modo seguente: l'applicazione del livello logico 1 al filo S (il Set), quando il filo R è al livello logico zero, provoca il passaggio a 1 dell'uscita Q.

Riportando a zero il filo S, l'uscita della memoria viene mantenuta nella condizione in cui si trova, per mezzo del collegamento di retroazione presente tra le porte logiche NOR che costituiscono la memoria.

In questo modo viene "memorizzata" l'ultima operazione.

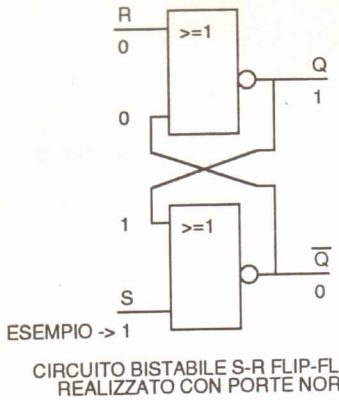
L'uscita Q può essere riportata a zero applicando il livello logico 1 al filo R (ossia al Reset).

Dopo quest'ultima operazione, l'uscita Q rimane a zero fino a che non viene applicato nuovamente un segnale alto all'ingresso S.

Per il suo funzionamento questa memoria è chiamata memoria set-reset, oppure S-R flip-flop.

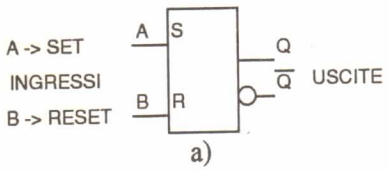
All'atto della messa in tensione del circuito, la memoria richiede sempre un segnale che la piloti in posizione di partenza.

In nessun caso ai terminali S e R deve essere applicato contemporaneamente un segnale allo stato logico 1, pena l'indeterminatezza dell'uscita.



STATO INIZIALE USCITE		SEGNALE IN INGRESSO		STATO FINALE USCITE	
Q	$\overline{Q}$	S (A)	R (B)	Q	$\overline{Q}$
0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0
0	1	1	1	?	?
1	0	1	1	?	?

b)



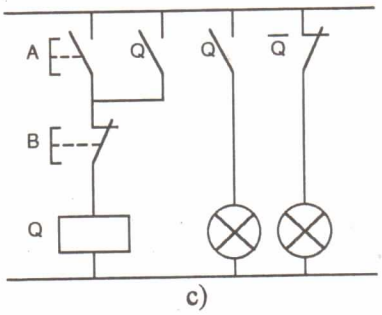


***Fig. 2.10** - Circuito logico bistabile S-R flip-flop - a) Bistabile S-R flip-flop segno grafico - b) Tabella della verità - c) Schema equivalente a contatti.*

2.4 - INTRODUZIONE ALLA MATEMATICA DEI CONTATTI

Come noto, i contatti di pulsanti, finecorsa, ecc. possono assumere solo due posizioni, cioè di **aperto** (non passa corrente) e **chiuso** (passa corrente); negli schemi con contatti, definirne il funzionamento significa determinare la loro combinazione affinchè venga fornita corrente all'utilizzatore (es. relè).

Il contatto, come si è visto, è un organo operativo dei circuiti elettrici, capace di lasciar passare o di interrompere la corrente; può essere comandato manualmente (es. interruttore o pulsante) oppure con un comando a distanza (es. relè, contattore, ecc.).

Anche negli impianti pneumatici o meccanici è possibile trovare organi che funzionano come i contatti elettrici (es. valvole pneumatiche ad azionamento automatico o manuale, leve, ecc.); si ricorda infine che anche i transistor, i diodi, gli SCR e i TRIAC funzionanti in regime di commutazione si comportano nel medesimo modo; le regole precedentemente citate e quelle che saranno esposte di seguito valgono quindi anche per queste apparecchiature.

2.5 - REGOLE GENERALI

Un contatto si può identificare con una lettera maiuscola (es. A), che indica quale è l'operatore che lo comanda (bobina o comando manuale).

Ad un unico comando dell'operatore, tutti i contatti di uguale nome commutano contemporaneamente.

I contatti a riposo possono essere normalmente aperti (NO) o normalmente chiusi (NC).

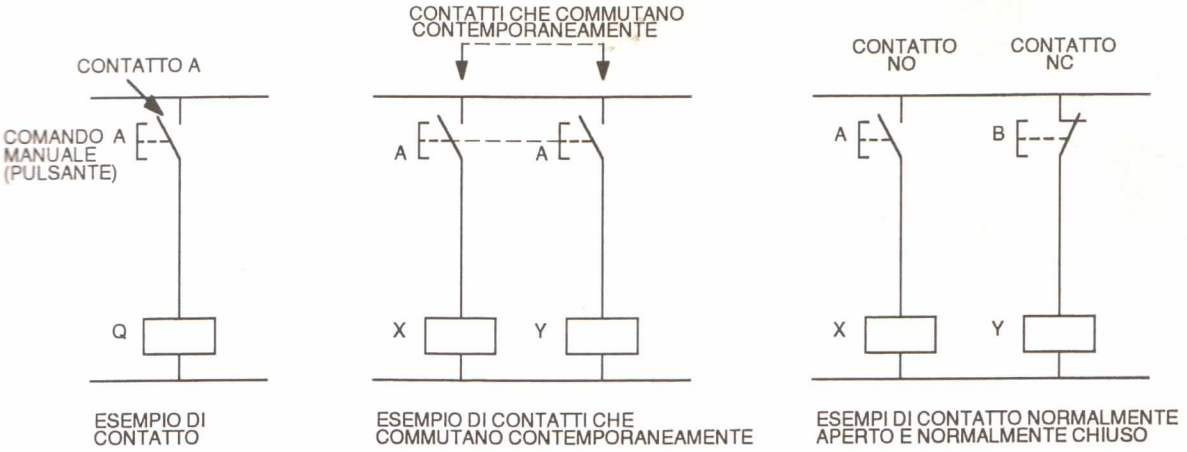


Fig. 2.11 - Esempi di contatti.

Quando si devono indicare, in un'equazione, i contatti NC, è convenzione indicarli con un trattino sopra la lettera; il contatto rappresentato nella figura che segue viene indicato nelle equazioni booleane con $\overline{A}$ (si legge A negato), nella rappresentazione grafica non si segna la negazione sul simbolo, in quanto la forma grafica del contatto indica già il suo stato di riposo.

Si dicono negati o complementari i contatti NC, perchè la funzione da loro risolta è esattamente "l'opposto" del contatto NO assunto come riferimento.

Secondo la matematica dei contatti, si indica convenzionalmente con "**livello logico 1**" il segnale (elettrico, pneumatico, meccanico) che fa cambiare di stato un contatto e con "**livello logico 0**" la mancanza di segnale oppure il segnale che non fa commutare il contatto.

Per esempio il segnale logico 1 si identifica con il movimento del dito che preme il pulsante B; per il circuito della bobina (vedi figura), il segnale logico 1 è dato dal polo positivo dell'alimentazione, che gli viene trasmesso dalla chiusura del pulsante; l'eccitazione della bobina Q fa cambiare di stato i suoi contatti; il contatto NO, che a riposo trasferisce in X il livello 0, si chiude e trasmette il livello 1, mentre il contatto $\overline{Q}$ negato, che è NC e che a riposo trasmette in Y il livello 1, si apre e trasmette ora il livello 0.

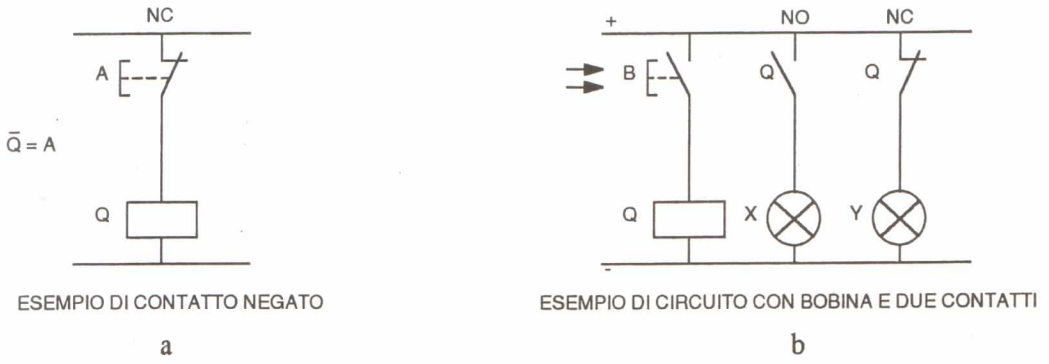


Fig. 2.12 - a) Esempio di contatto negato - b) Esempio di circuito con bobina e due contatti.

In definitiva possiamo dire:

1) applicare il segnale 1 ad un contatto NO vuol dire chiuderlo e far uscire il segnale 1, analogamente applicando il segnale 0 uscirà 0;
2) applicare il segnale 1 ad un contatto NC vuol dire aprirlo e far uscire il segnale 0; viceversa dando ad un circuito il segnale 0, si ottiene in uscita il segnale 1: questa operazione è detta di complementazione;
3) i simboli 0 e 1 non sono numeri in senso aritmetico, ma indicano lo stato logico dell'elemento operatore e/o dell'uscita.

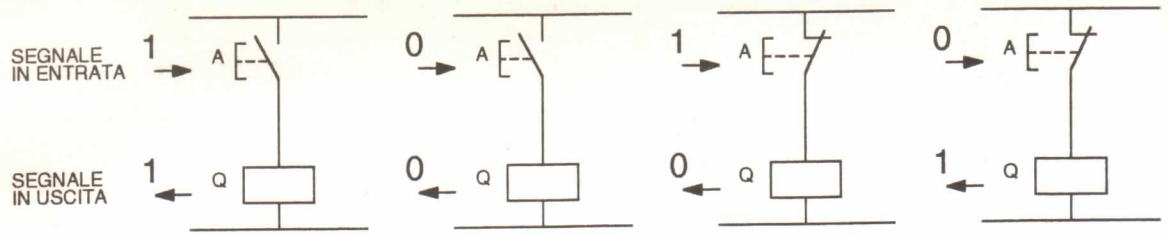


Fig. 2.13 - Esempi di segnali in entrata e in uscita in un circuito elettrico.

2.6 - PROPRIETÀ E TEOREMI DELL'ALGEBRA BOOLEANA

Come si è visto precedentemente, due o più contatti in serie eseguono un'operazione detta **prodotto logico** (AND), analogamente due o più contatti in parallelo eseguono una operazione detta **somma logica** (OR), infine l'operazione di **complementazione** od **inversione logica** (NOT) corrisponde alla trasformazione di contatti NO in contatti NC e viceversa.

Esistono inoltre nell'algebra di Boole delle proprietà che consentono di semplificare le espressioni booleane: proprietà **commutativa, associativa, distributiva**.

Analizzando gli schemi a contatti del tipo serie/parallelo, dopo aver determinato la loro equazione booleana, è interessante osservare che in molti casi è possibile scrivere delle espressioni e quindi degli schemi semplificati, che però sono del tutto equivalenti a quelli di partenza.

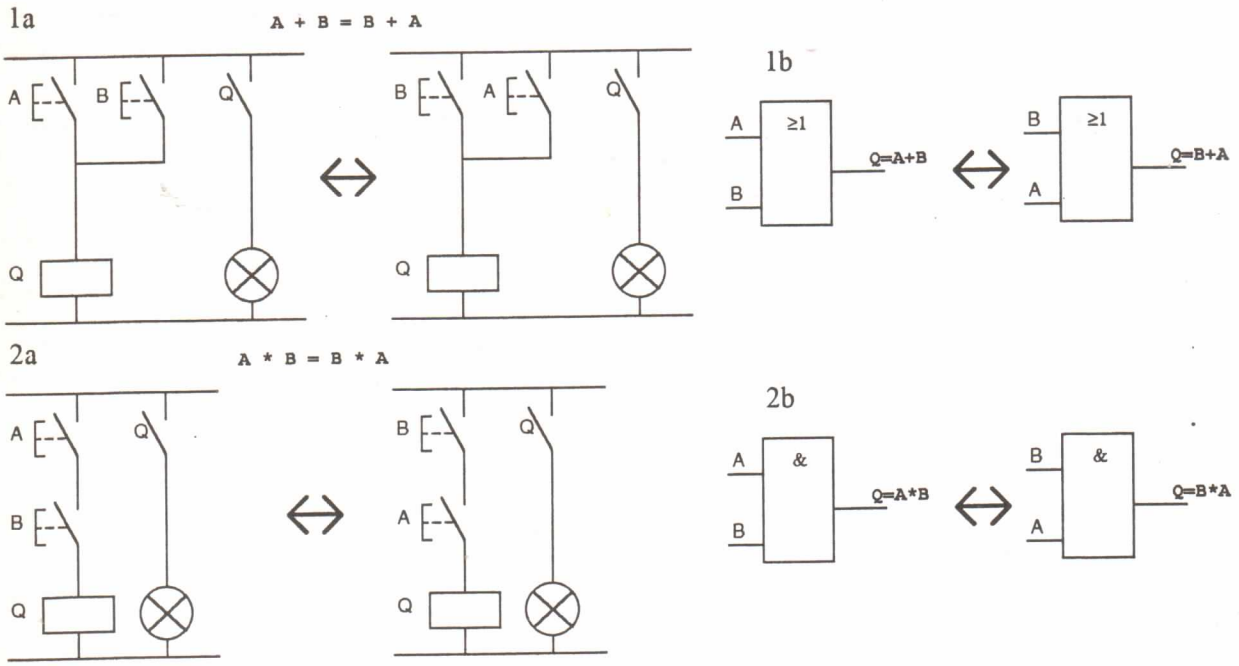


Fig. 2.14 - Proprietà commutativa: 1a-2a) schemi equivalenti a contatti - 1b-2b) schemi logici.

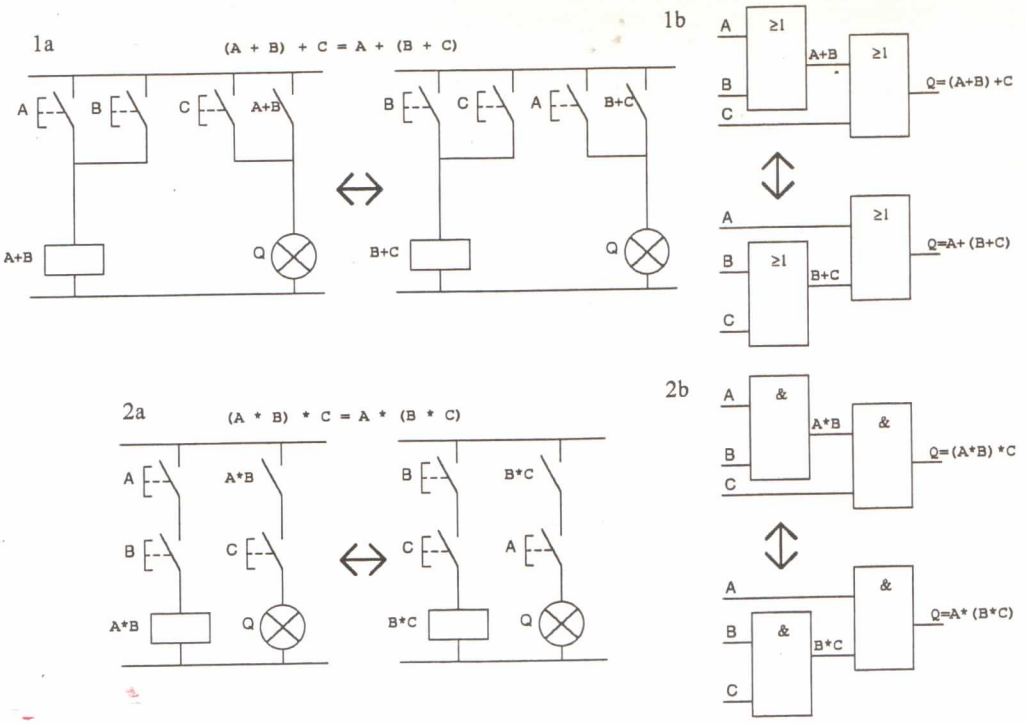


Fig. 2.15 - Proprietà associativa: 1a-2a) schemi equivalenti a contatti - 1b-2b) schemi logici.

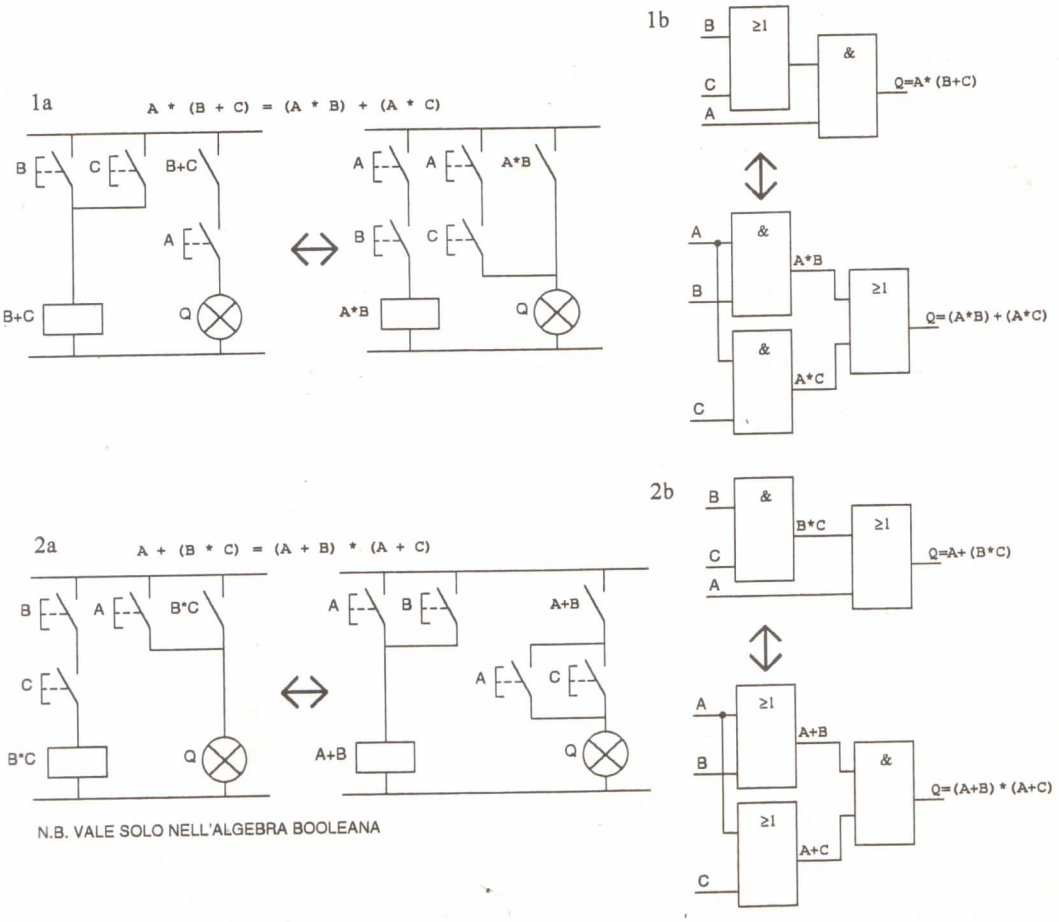
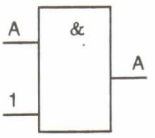
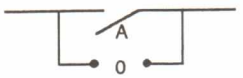
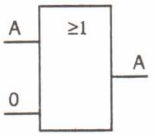
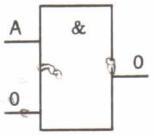
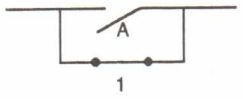
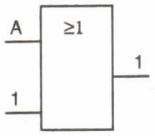
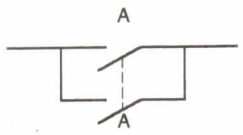
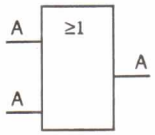
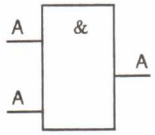
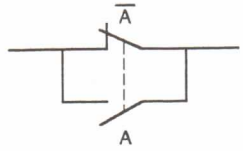
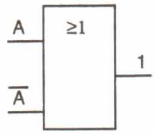
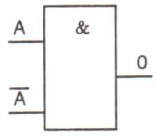
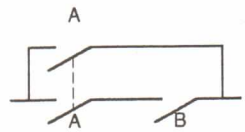
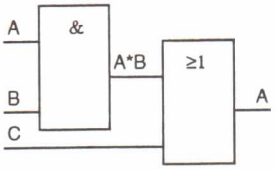
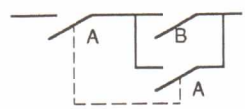
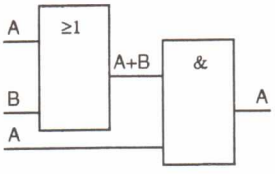


Fig. 2.16 - Proprietà distributiva: 1a-2a) schemi equivalenti a contatti - 1b-2b) schemi logici.

Oltre le proprietà viste precedentemente, valgono i seguenti teoremi.

NOME	EQUAZIONE	SCHEMA ELETTRICO	SCHEMA LOGICO
TEOREMA DI IDENTITA'	$A * 1 = A$		
	$A + 0 = A$		
TEOREMA DI ANNULLAMENTO	$A * 0 = 0$		
	$A + 1 = 1$		
TEOREMA DI IDEMPOTENZA	$A + A = A$		
	$A * A = A$		
TEOREMA DEI COMPLEMENTI	$A + \overline{A} = 1$		
	$A * \overline{A} = 0$		
TEOREMA DELL'ASSORBIMENTO	$A + A * B = A$		
	$A * (A + B) = A$		

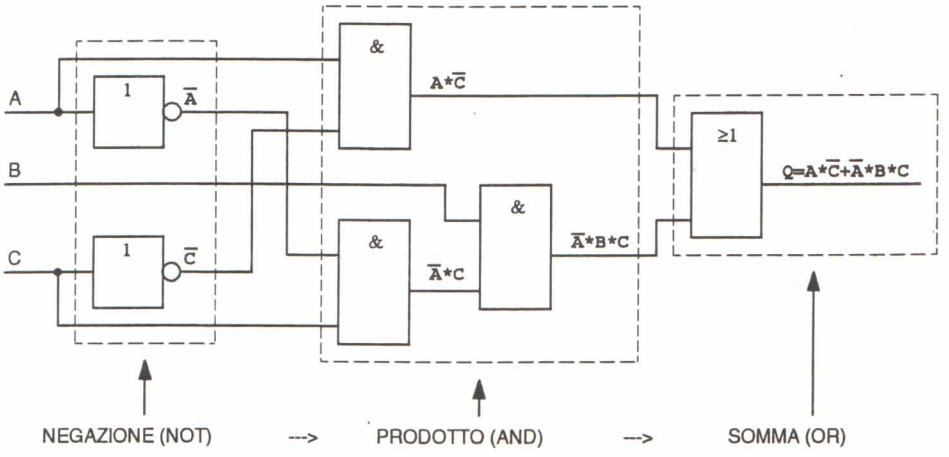
2.7 - TRASFORMAZIONE DI ESPRESSIONE BOOLEANA IN CIRCUITO LOGICO E VICEVERSA

Dovendo trasformare un'espressione booleana in circuito logico, si deve rispettare il seguente ordine:

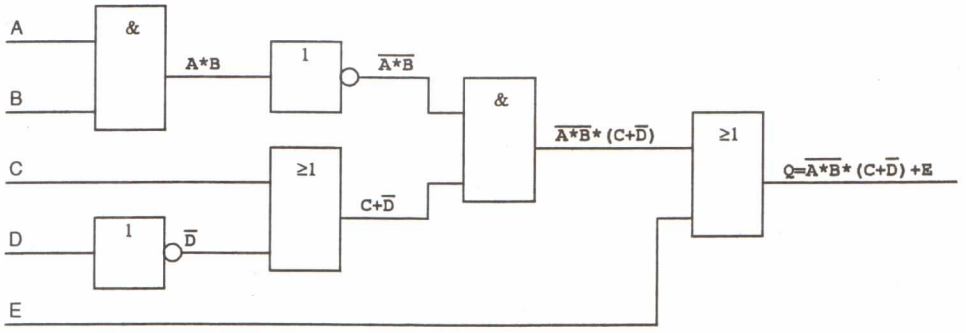
NEGAZIONE (NOT) --> PRODOTTO (AND) --> SOMMA (OR)

Se nell'espressione vi sono parentesi o trattini di complementazione estesi su più variabili, si deve risolvere prima la parte di espressione tra parentesi o sottostante il trattino, seguendo comunque l'ordine precedentemente citato.

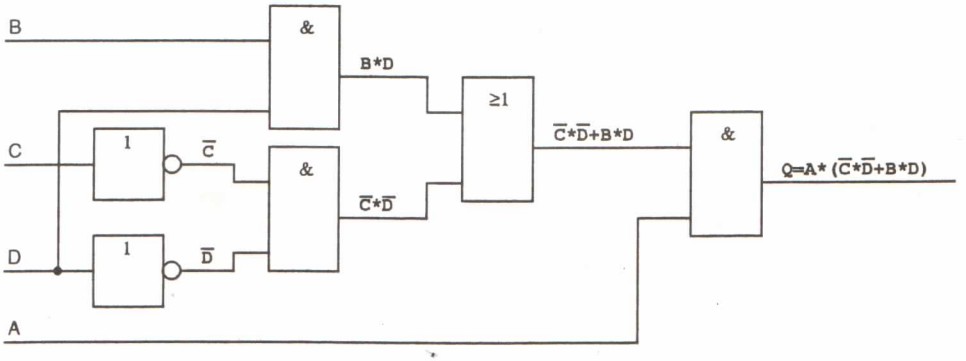
Esempio 1: $Q = A * \overline{C} + \overline{A} * B * C$



Esempio 2: $Q = \overline{A * B} * (C + \overline{D}) + E$



Esempio 3: $Q = A * (\overline{C} * \overline{D} + B * D)$



Qualora si debba trasformare una funzione booleana in un circuito logico, si deve suddividere l'espressione secondo l'ordine inverso a quello con cui vengono effettuate le operazioni.

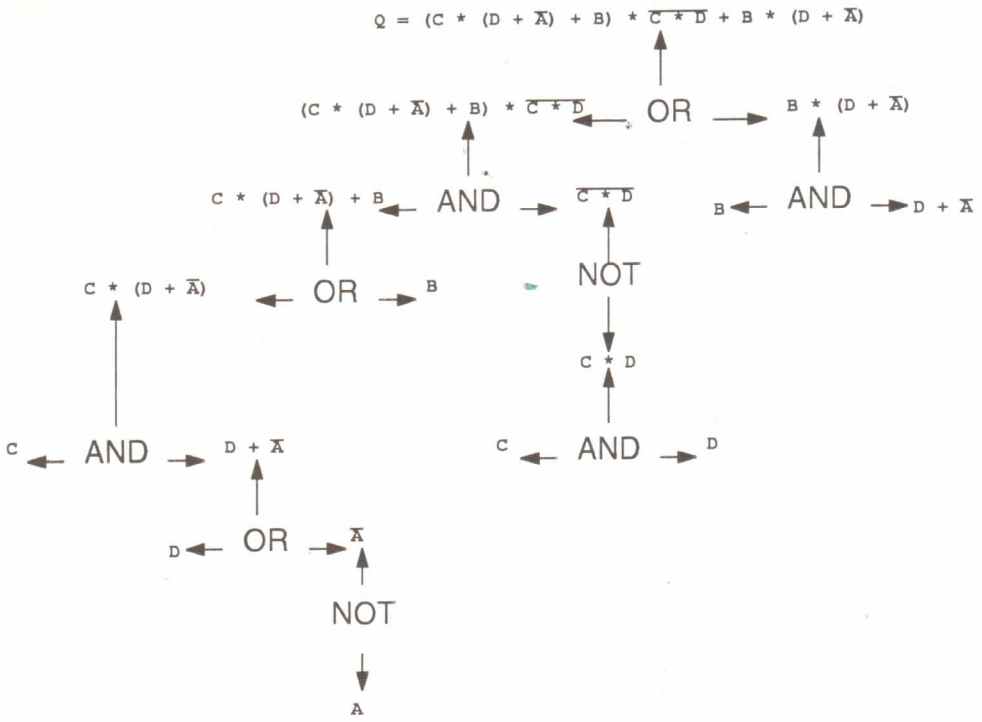


Fig. 2.17 - Scomposizione della funzione booleana.

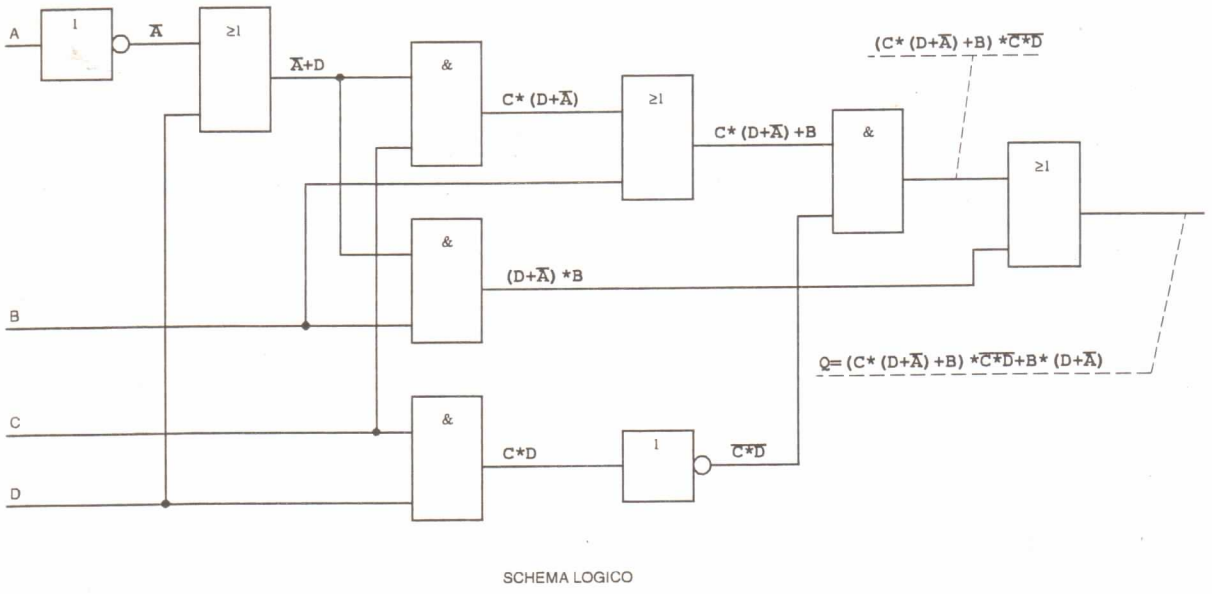


Fig. 2.18 - Schema logico relativo all'esempio trattato.

- LEGAME TRA SCHEMI A CONTATTI E EQUAZIONI LOGICHE E RELATIVA MPLIFICAZIONE

Alcuni schemi a contatti sono suscettibili di una semplificazione, che si può effettuare mediante l'aiuto l'algebra binaria e delle sue proprietà.

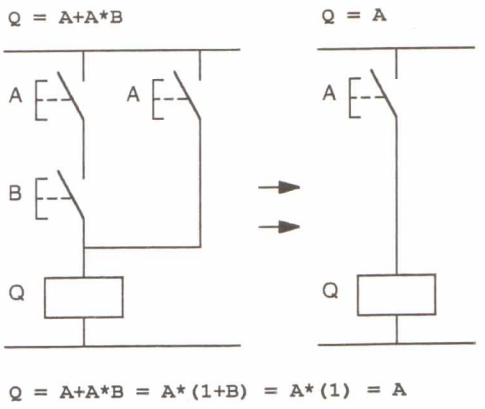


Fig. 2.19 - Esempio di semplificazione.

Nello schema della figura precedente, l'uscita Q dipende solo da A, perchè anche se B fosse chiuso, ognerebbe che anche A lo fosse per ottenere l'uscita Q allo stato logico 1.
Volendo semplificare con l'ausilio dell'algebra di Boole, si può procedere nel seguente modo:
$Q = A + A * B = A * (1 + B) = A * (1) = A$
Anche nello schema seguente, l'uscita Q dipende solo da A, infatti semplificando si ottiene:
$Q = A * (A + B) = A * A + A * B = A + A * B = A (1 + B) = A (1)$ quindi $Q = A$

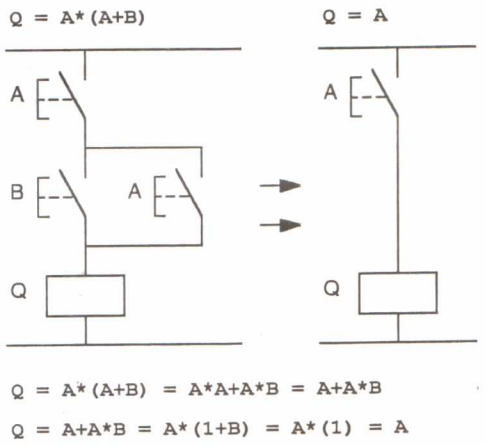
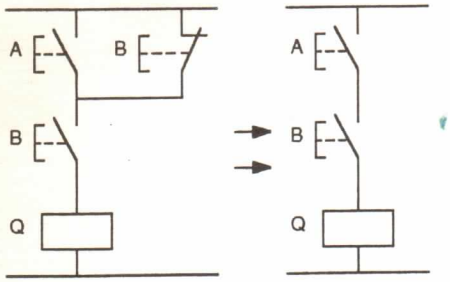


Fig. 2.20 - Esempio di semplificazione.

Esempi di semplificazione:

Esempio 1:

$Q = (A+\overline{B}) * B$ $\qquad$ $Q = A*B$

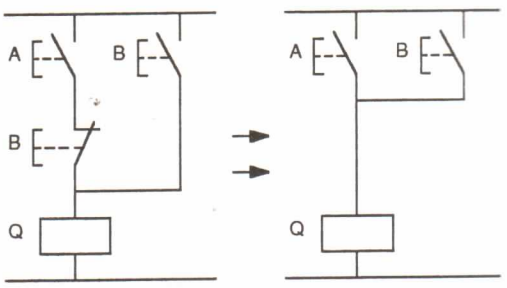


$Q = (A+\overline{B}) * B = A*B+\overline{B}*B = A*B+(0) = A*B$

$Q = A*B$

Esempio 2:

$Q = A*\overline{B}+B$ $\qquad$ $Q = A+B$

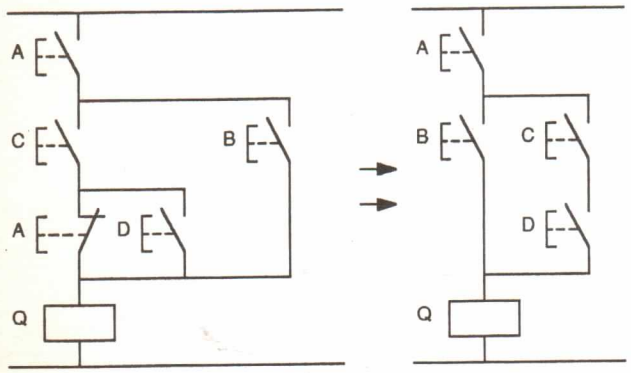


$Q = A*\overline{B}+B = B+A*\overline{B} = (B+\overline{B}) * (B+A)$

$Q = (1) * (B+A) = B+A$

Esempio 3:

$Q = ((\overline{A}+D) *C+B) *A$ $\qquad$ $Q = A* (C*D+B)$

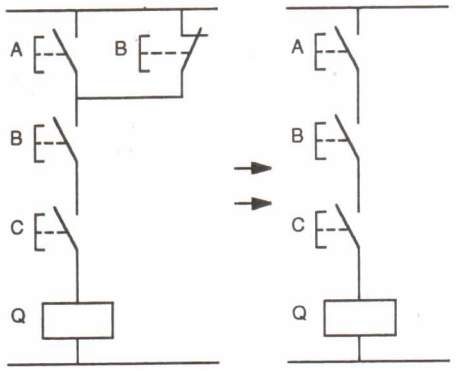


$Q = ((\overline{A}+D) *C+B) *A = (\overline{A}*C+C*D+B) *A = A*\overline{A}*C+A*C*D+A*B$

$Q = A*C*D+A*B = A* (C*D+B)$

Esempio 4:

$Q = (A+\overline{B}) *B*C$ $\qquad$ $Q = A*B*C$

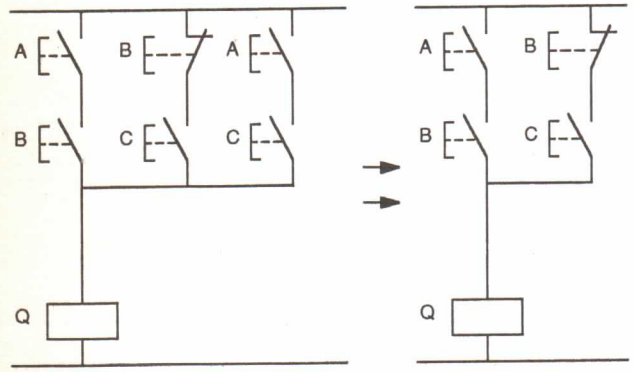


$Q = (A+\overline{B}) *B*C = (A*B+\overline{B}*B) *C = (A*B+(0)) *C$

$Q = A*B*C$

Esempio 5:

$Q = A*B+\overline{B}*C+A*C$ $\qquad$ $Q = A*B+\overline{B}*C$



$Q = A*B+\overline{B}*C+A*C = A* (B+C) +\overline{B}*C$

APPLICANDO LA PROPRIETA` DISTRIBUTIVA

$A+(B*C) = (A+B) * (A+C)$

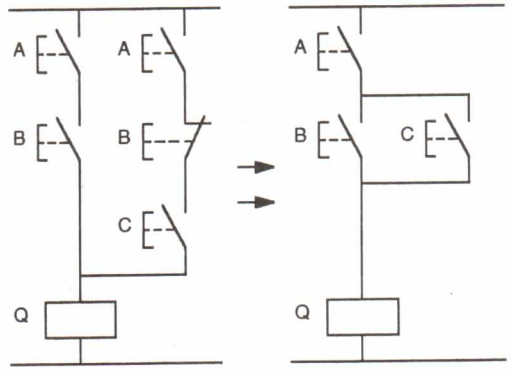
$B+(\overline{B}*C) = (B+\overline{B}) * (B+C) = B+C$

$Q = A* (B+\overline{B}*C) +\overline{B}*C = A*B+A*\overline{B}*C+\overline{B}*C$

$Q = A*B+\overline{B}*C (A+1) = A*B+\overline{B}*C* (1) = A*B+\overline{B}*C$

Esempio 6:

$Q = A*B+A*\overline{B}*C$ $\qquad$ $Q = A* (B+C)$



$Q = A*B+A*\overline{B}*C = A* (B+\overline{B}*C)$

APPLICANDO LA PROPRIETA` DISTRIBUTIVA

$A+(B*C) = (A+B) * (A+C)$

$Q = A* ((B+\overline{B}) * (B+C)) = A* ((1) * (B+C))$

$Q = A* (B+C)$

2.9 - TEOREMI DI DE MORGAN

Si può presentare, durante il progetto, il montaggio o la modifica di un impianto con una logica a contatti, la necessità di collegare dei contatti NC oppure NO, in serie o in parallelo, e di disporre solo dei loro complementari.

Può essere utile usare i teoremi di DE MORGAN per trasformare o semplificare le espressioni booleane: $\overline{A*B} = \overline{A} + \overline{B}$ e $\overline{A+B} = \overline{A} * \overline{B}$.

Analizzando le espressioni sopra indicate, si rileva che esse contengono in sostanza la trasformazione di un OR in AND e viceversa.

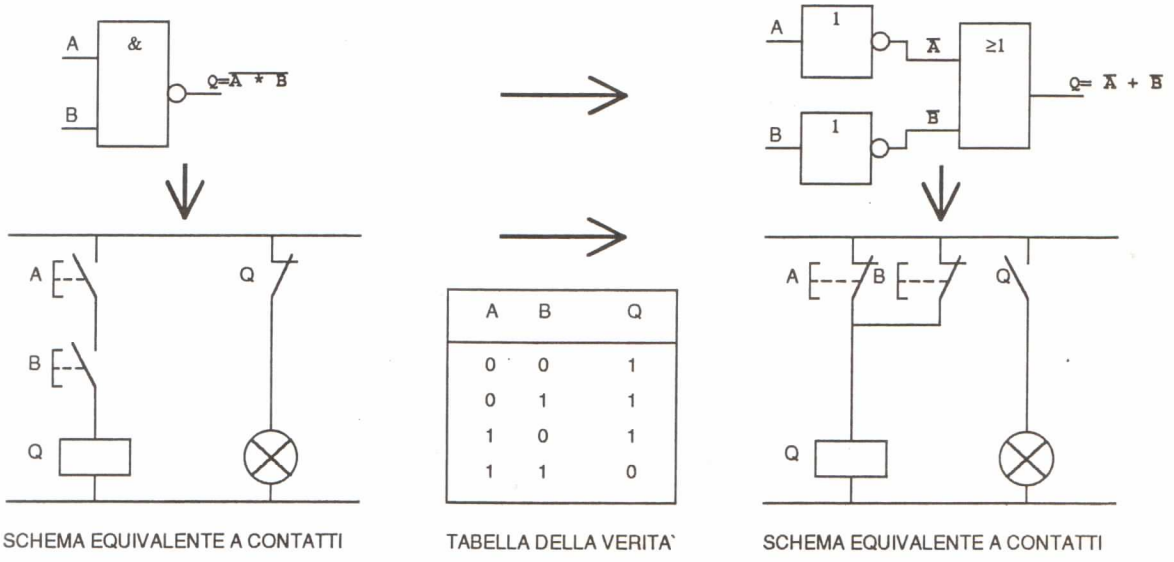


Fig. 2.21 - Teorema di DE MORGAN: $\overline{A*B} = \overline{A} + \overline{B}$.

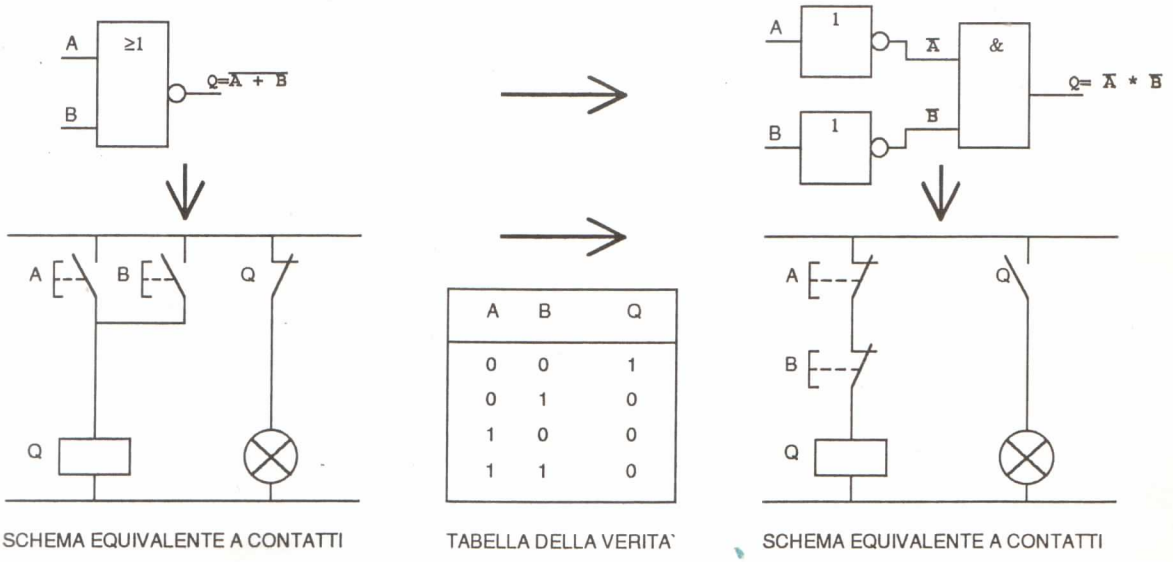


Fig. 2.22 - Teorema di DE MORGAN: $\overline{A+B} = \overline{A} * \overline{B}$.

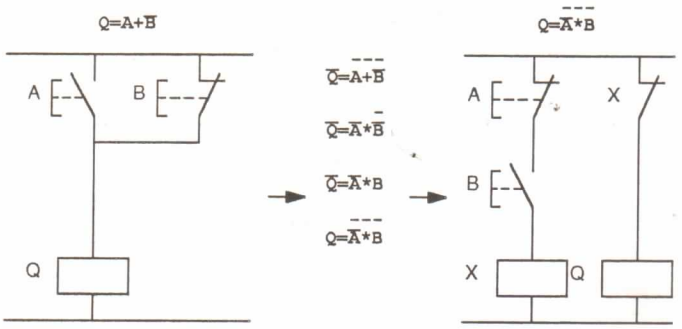
In un'espressione algebrica generica, si ottiene il suo complemento scrivendo negate le variabili che compongono la formula e cambiando il prodotto in somma e la somma in prodotto.

Ad esempio:

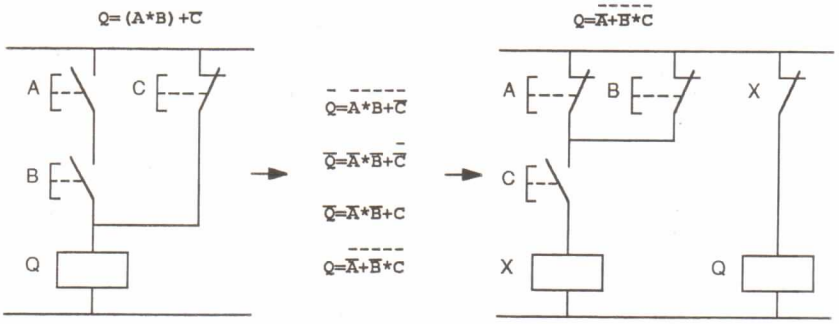
1) $Q = A * B$ il suo complemento, cioè $\overline{A*B}$ si ottiene con $\overline{A} + \overline{B}$
2) $Q = A + B$ il suo complemento, cioè $\overline{A+B}$ si ottiene con $\overline{A} * \overline{B}$

Esempi di applicazione:

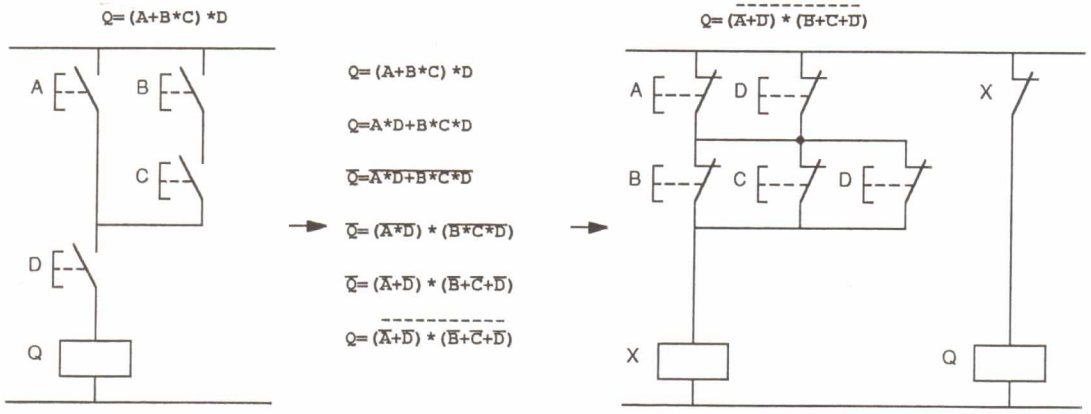
Esempio 1:



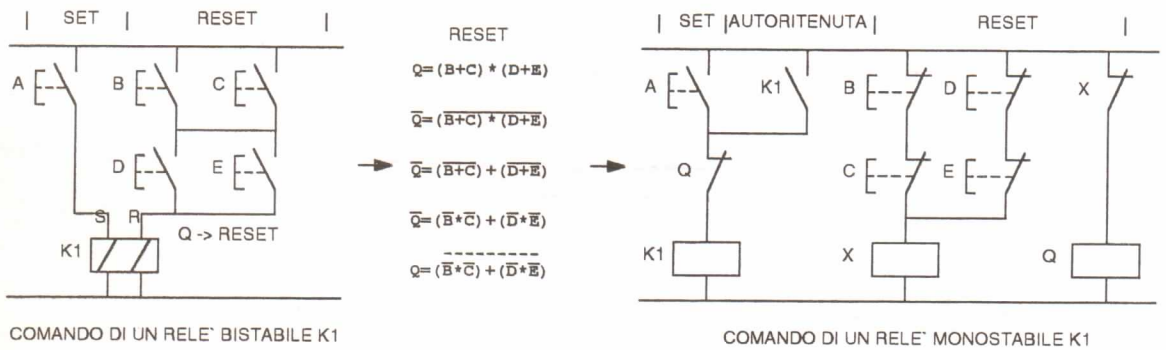
Esempio 2:



Esempio 3:



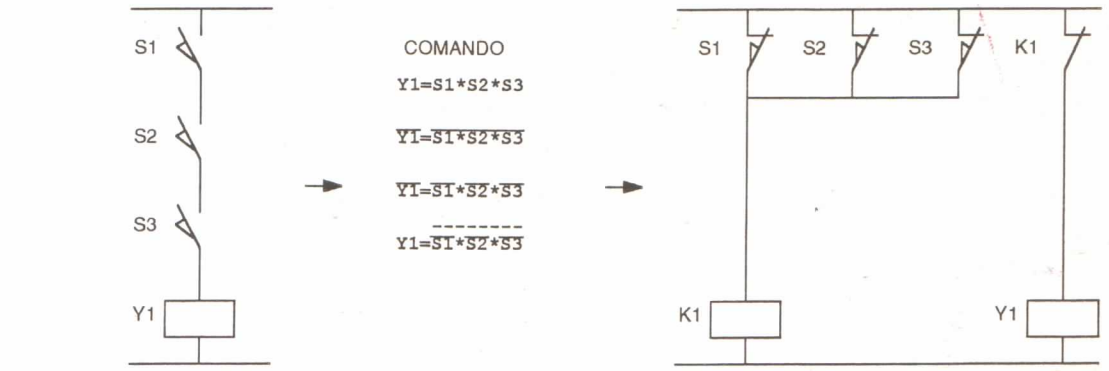
Esempio 4: trasformazione di un comando per relè bistabile in uno per il comando di un relè monostabile avente le medesime caratteristiche di funzionamento.



COMANDO DI UN RELE' BISTABILE K1

COMANDO DI UN RELE' MONOSTABILE K1

Esempio 5: comando di una elettrovalvola (Y1) che deve avvenire solo quando tutti i finecorsa (S1, S2, S3) sono azionati.



COMANDO DI UNA ELETTROVALVOLA Y1 MEDIANTE FINECORSA CON CONTATTI NO

COMANDO DI UNA ELETTROVALVOLA Y1 MEDIANTE FINECORSA CON CONTATTI NC

In pratica ciò significa che ogni circuito avente determinate caratteristiche può essere trasformato in un altro circuito con caratteristiche inverse, avente però un funzionamento equivalente al precedente: i contatti da normalmente aperti diventano normalmente chiusi e il collegamento dei contatti da serie diventa parallelo e viceversa.

Come si è visto negli esempi precedenti, una funzione booleana può essere definita mediante la sua espressione algebrica, ma può essere identificata anche dalla sua tabella di verità, la quale elenca in pratica tutte le possibili combinazioni che le variabili indipendenti (A, B, C, ecc.) possono avere ed il relativo risultato Q.

A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A}$*B	A+B OR	$\overline{A+B}$ NOR	A*B AND	$\overline{A*B}$ NAND	$\overline{A}$+$\overline{B}$	$\overline{A}$*$\overline{B}$
0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0

***Tab. 2.1** - Tabella della verità per due variabili A, B.*

Come è noto, le variabili indipendenti possono avere solo due valori diversi e cioè 0 e 1, perciò le possibili combinazioni sono 2^n ,dove n esprime il numero delle variabili indipendenti.

Per esempio se la funzione booleana è Q = A * B + B, siccome n = 2, si avranno $2^2 = 4$ combinazioni da cui 4 ingressi che determinano una tabella composta di quattro righe che esaurisce tutte le possibili combinazioni.

Analizzando la tabella di verità è possibile semplificare una funzione booleana riuscendo ad ottenere un'altra funzione identica alla precedente, ma con un numero di operatori logici minore.

Questo in pratica si traduce in un numero minore di contatti se la funzione è realizzata con apparecchiature elettromeccaniche (relè), dispositivi elettronici se la funzione è realizzata con un circuito elettronico non programmabile (transistor o circuiti integrati), un programma di dimensioni più ridotte se la funzione è realizzata da un'apparecchiatura programmabile (PLC o computer).

A	B	C	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\bar{A}*B*C$	$\bar{A}+B+C$	$A*\bar{B}*\bar{C}$	$A+\bar{B}+\bar{C}$	$B+C$	$\bar{A}*\bar{B}*\bar{C}$	$\bar{A}+\bar{B}+\bar{C}$
0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0

***Tab 2.2** - Tabella della verità per tre variabili A, B, C.*

2.10 - LEGAME TRA LOGICA, CIRCUITI ELETTRONICI DIGITALI, SCHEMI ELETTRICI, PROGRAMMAZIONE DEI PLC

Come si è visto negli esempi precedenti, si può associare ad una espressione logica uno schema elettrico, il quale rappresenta un modo comodo (soprattutto per i tecnici con una preparazione elettromeccanica) di rappresentare un automatismo.

In questi schemi compaiono una serie di dispositivi come pulsanti, finecorsa, relè, lampade, ecc., i quali possono assumere come si è visto solo due stati: aperto o chiuso per i contatti, eccitato o diseccitato per relè, contattori, ecc., acceso o spento per le lampade. Si è posto che i contatti aperti abbiano stato logico 0 e i contatti chiusi stato logico 1, analogamente i relè diseccitati hanno stato logico 0 e eccitati stato logico 1, infine le lampade spente hanno stato logico 0 e accese stato logico 1.

Questi schemi sono stati trattati quindi alla stregua delle porte logiche, poichè come esse possono rappresentare una funzione booleana.

Come si vedrà meglio in seguito, è possibile realizzare l'automatismo anche con una tecnologia diversa, pur raggiungendo il medesimo risultato logico. Questa tecnologia è quella dei controllori logici programmabili (PLC), nei quali l'operatore deve inserire un programma che esprime la funzione logica.

In questo modo il PLC durante il funzionamento risolverà le equazioni logiche secondo il programma e le variabili di ingresso, il cui stato logico è definito dalla posizione di pulsanti, finecorsa, ecc.

Si danno ora alcuni semplici esempi di come sia possibile realizzare, con tecnologie elettrico-elettroniche diverse, uno stesso automatismo.

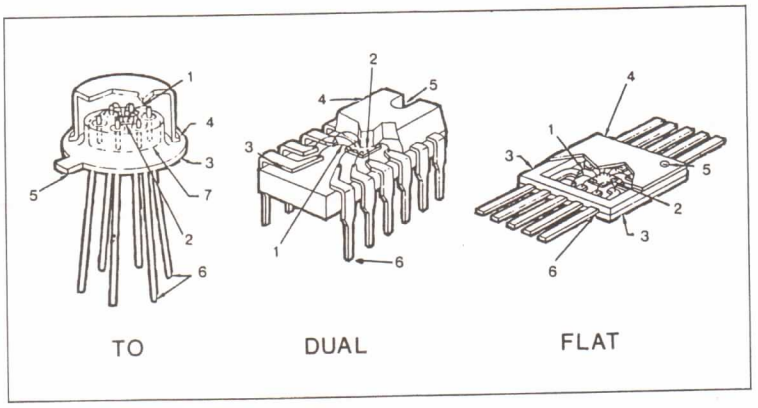


***Fig. 2.23** - Soluzioni costruttive per contenitori di circuiti integrati: - 1-filo di collegamento, 2-piastrina (chip), 3-base, 4-copertura, 5-tacca di riferimento, 6-piedini (pins), 7-basetta isolata.*

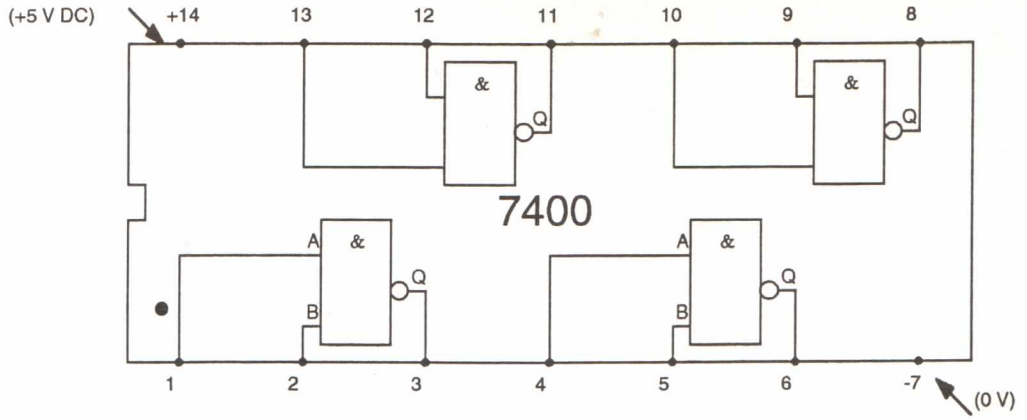


Fig. 2.24 - Circuito integrato 7400 contenente quattro porte logiche NAND a due ingressi.

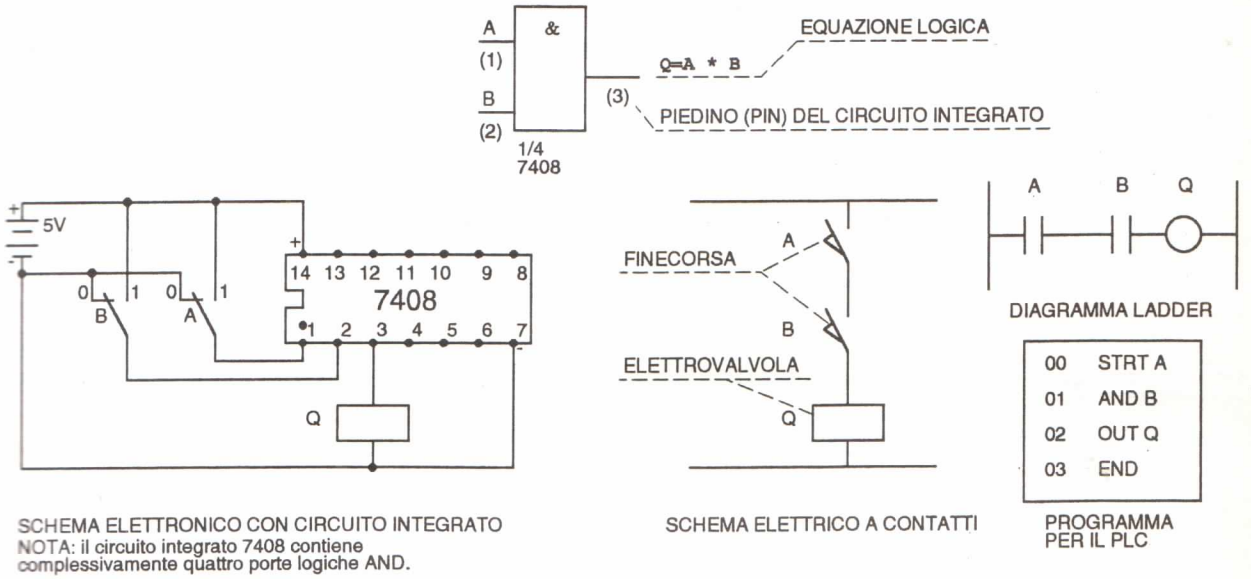


Fig. 2.25 - Controllo di una elettrovalvola mediante due finecorsa collegati in serie.

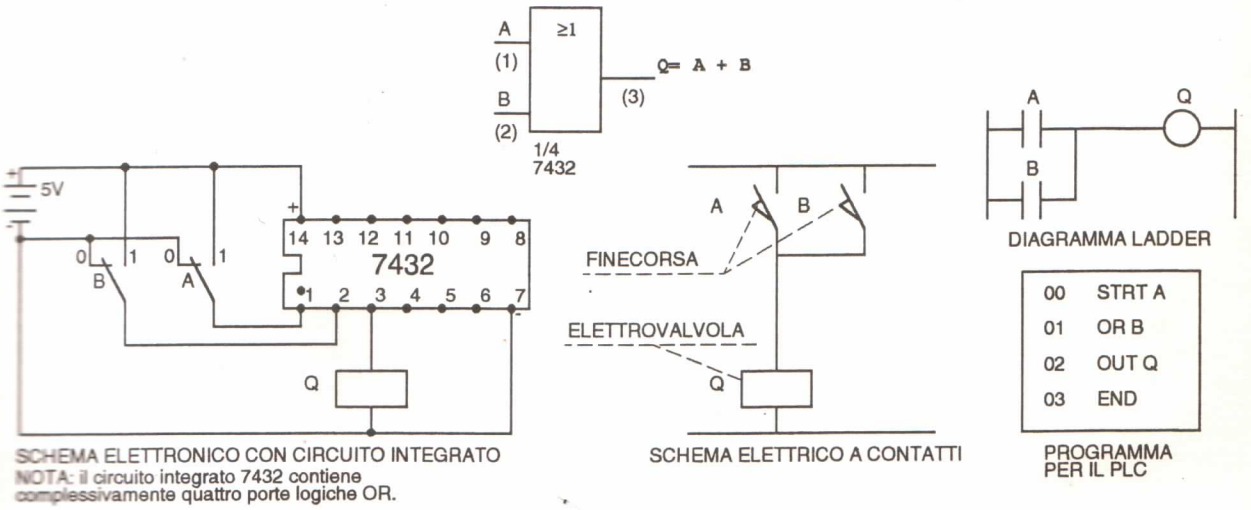


Fig. 2.26 - Controllo di una elettrovalvola mediante due finecorsa collegati in parallelo.

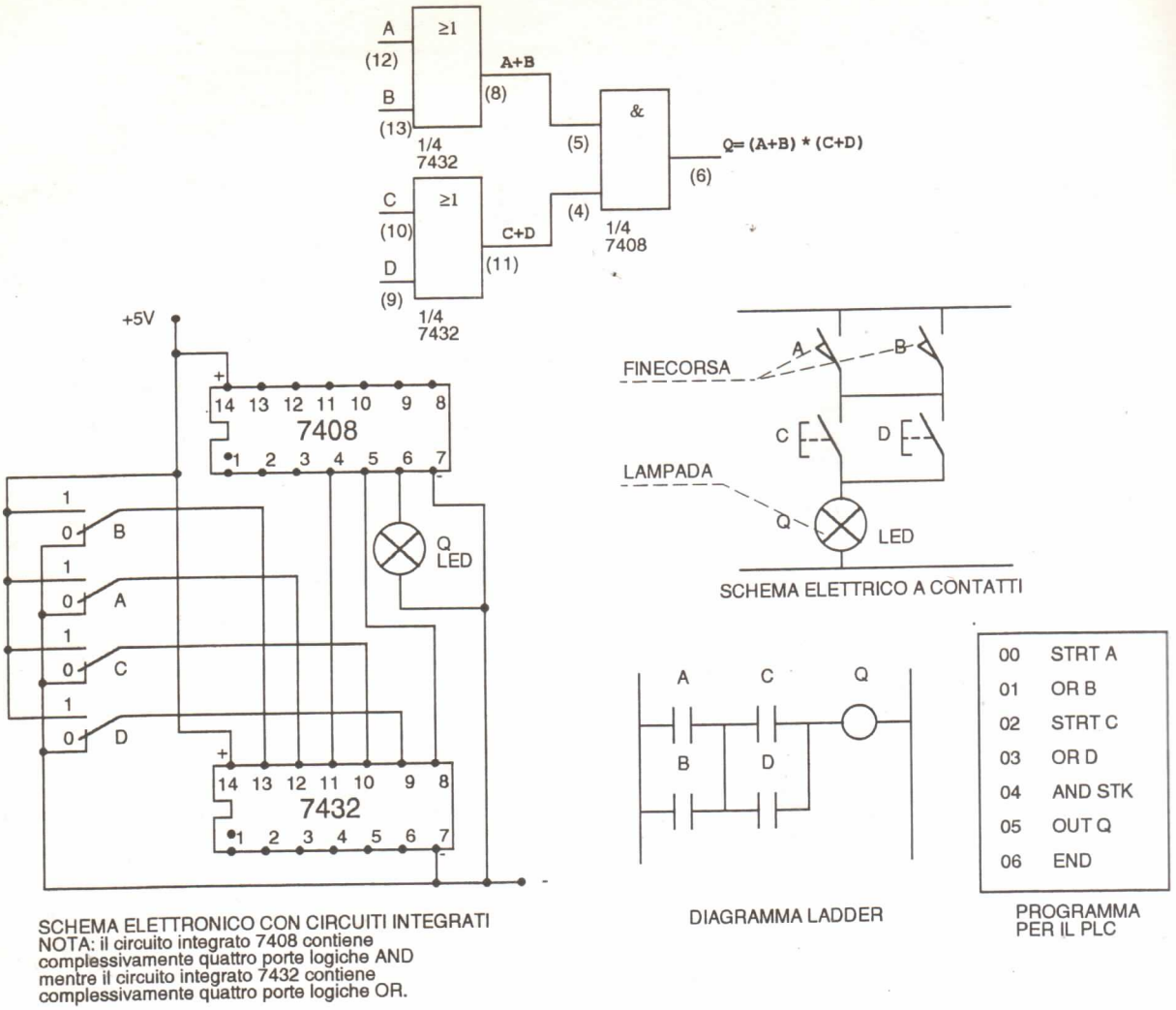


***Fig. 2.27** - Controllo di una lampadina mediante due finecorsa collegati in parallelo, a loro volta in serie a due pulsanti normalmente aperti collegati in parallelo.*

2.11 - DOMANDE

2.1) Quali sono gli operatori logici fondamentali?
2.2) Che cosa rappresenta la tabella della verità?
2.3) Qual è l'operatore logico che rappresenta il comportamento di contatti collegati in serie oppure collegati in parallelo?
2.4) Che cosa è una memoria?
2.5) Che cosa permettono di fare le proprietà dell'algebra di Boole?
2.6) Che cosa permettono di fare i teoremi di DE MORGAN?
2.7) Esiste un legame tra i circuiti elettronici e i circuiti elettrici?

2.12 - ESERCIZI

2.1) Rappresentare in uno schema elettrico a contatti le seguenti equazioni logiche:

$Q = (A + B) * C * D$; $Q = ((\overline{A} + \overline{B}) * C) + D * E$

$Q = A * \overline{B} * C + \overline{D} + E$; $Q = (\overline{A} * B * \overline{C}) + (D * \overline{E} * F)$

2.2) Rappresentare con uno schema logico le seguenti equazioni booleane:

$Q = A * B * C + D$; $Q = A * B + C * D$; $Q = (A + B) * (\overline{C} + D)$; $Q = \overline{A} * (B + C * D)$

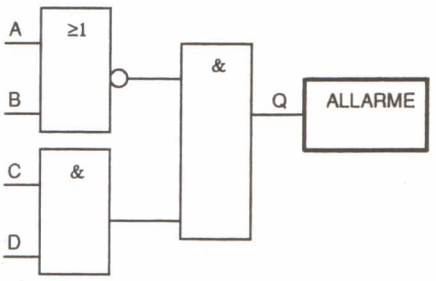
2.3) Minimizzare le seguenti equazioni booleane:

$Q = (A + B) * (\overline{A} * \overline{B})$; $Q = (A + B) * (\overline{A} + \overline{B})$; $Q = (\overline{A} + \overline{B}) * (A * B * \overline{C})$;

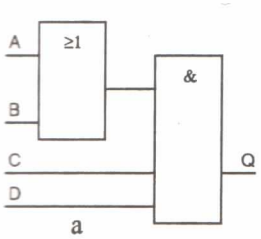
$Q = A + \overline{B} + \overline{A} * B + \overline{C}$; $Q = A + \overline{B} + \overline{A} * B + D * (A + B)$; $Q = (A * B + C) * (A * B + D)$;

$Q = A + \overline{A} * B + A * B$; $Q = (A * B + C) * (A * B + D)$; $Q = B * C * \overline{D} + B * C * D$

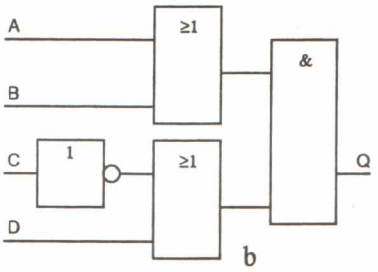
2.4) Il seguente schema logico è usato per attivare un allarme quando l'uscita Q è allo stato logico 1. Tracciare la tabella della verità relativa alle 16 possibili combinazioni delle 4 variabili indipendenti A, B, C, D.



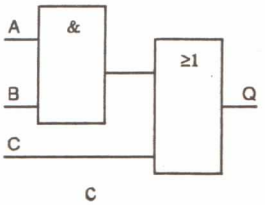
2.5) Scrivere le equazioni booleane relative ai seguenti schemi logici:



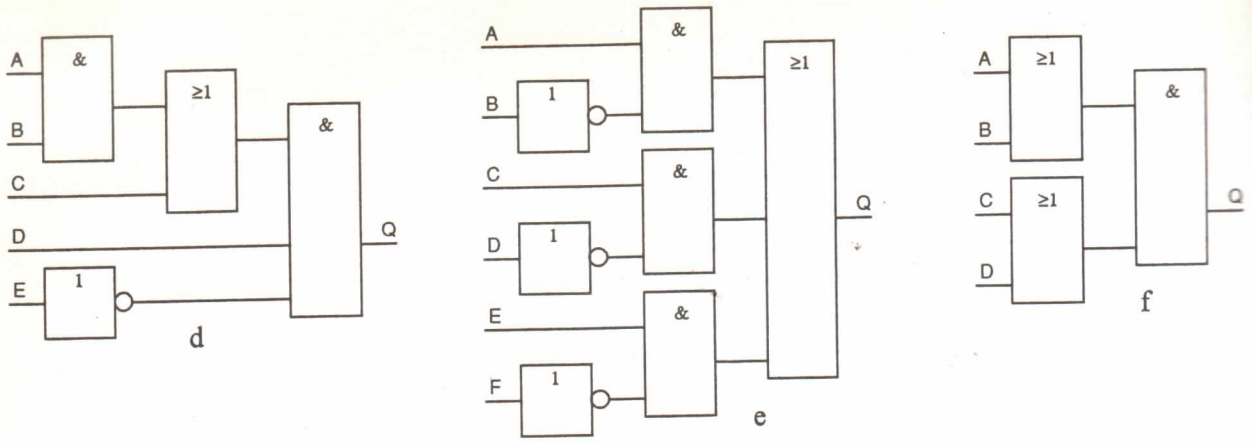
a



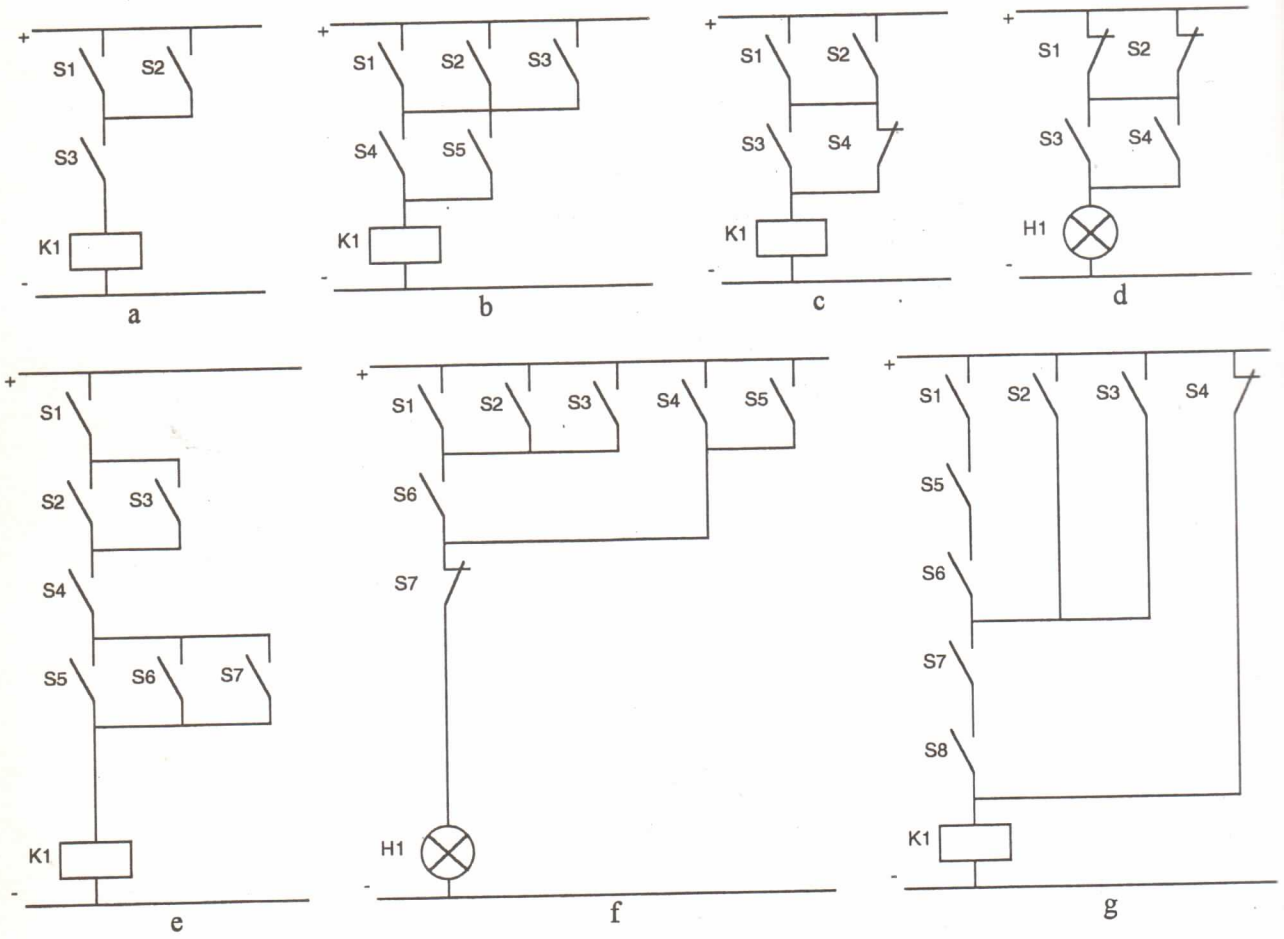
b



c



2.6) Tracciare lo schema logico equivalente ai seguenti schemi elettrici a contatti:



3. - INTRODUZIONE AGLI AUTOMATISMI INDUSTRIALI

3.1 - STRUTTURA DI UN SISTEMA AUTOMATIZZATO

Un sistema automatizzato, se opportunamente realizzato, è in grado di compiere un determinato lavoro prendendo le decisioni per le quali è stato predisposto, in funzione dei segnali provenienti dalla parte controllata; l'insieme di questi dispositivi vanno a costituire un comando automatico.

Un normale ciclo di funzionamento automatico necessita di tre componenti fondamentali:

1) i **sensori** che rilevano le informazioni del processo (pulsanti e finecorsa pneumatici o elettrici, sensori di prossimità, regolatori di livello, indicatori di pressione, di temperatura, trasduttori di posizione e di velocità, ecc.);
2) l'**unità di controllo** (di tipo elettrico, elettronico, pneumatico, elettronico-programmabile) del sistema di comando che elabora le informazioni provenienti dai sensori ed emette i risultati;
3) gli **attuatori** (motori elettrici, cilindri pneumatici o oleodinamici, ecc.), comandati da elementi di azionamento quali relè, elettrovalvole, convertitori di frequenza ed altri, i quali si occupano di rendere operativi i risultati dell'unità di controllo.

Le informazioni che si scambiano queste tre componenti sono costituite da segnali che possono essere di tipo ON-OFF, analogici e digitali.

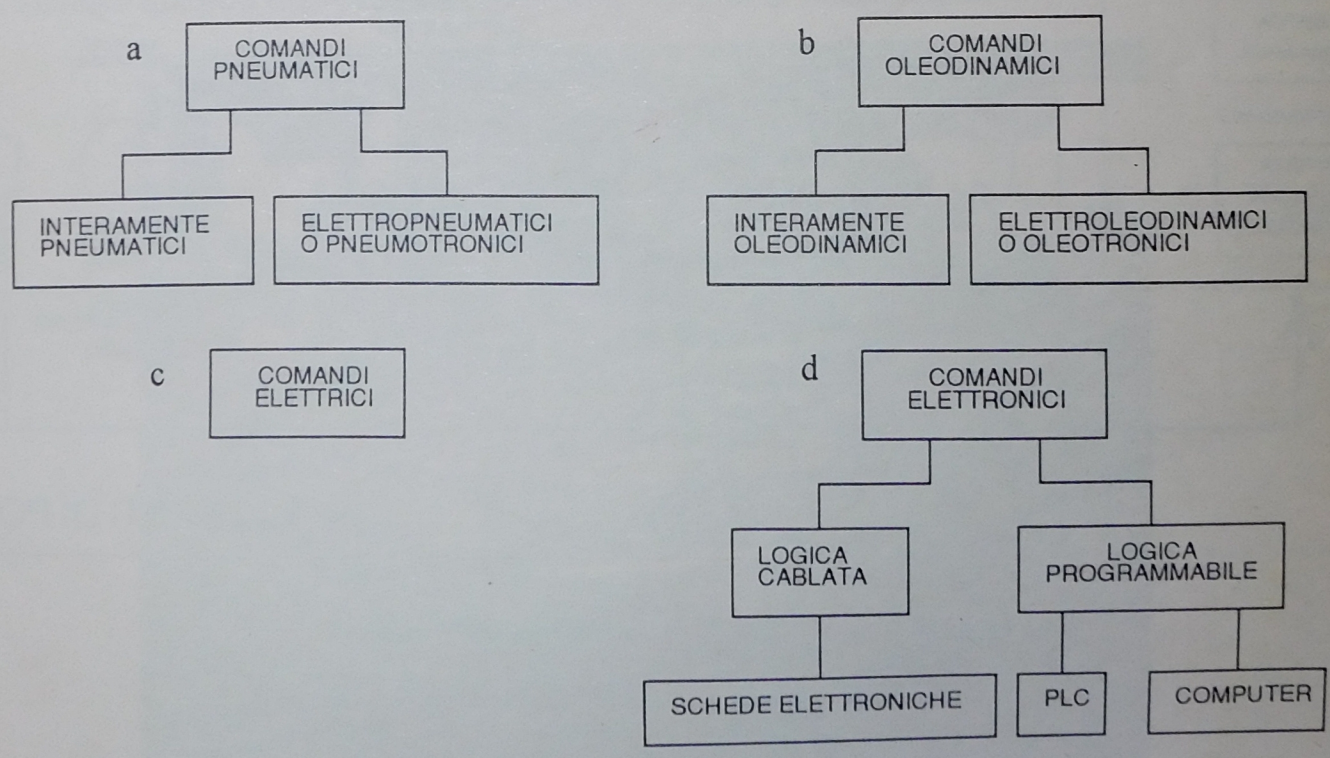


Fig. 3.1 - Classificazione dei sistemi di comando.

	TIPO DI SENSORE ESEMPI DI INPUT	UNITA' DI ELABORAZIONE O DI COMANDO	APPARECCHIATURE USATE	AZIONAMENTO	ATTUATORE DI POTENZA ESEMPI DI OUTPUT
1	PULSANTI E FINECORSA PNEUMATICI, ECC.	PNEUMATICA (LOGICA CABLATA)	VALVOLE A COMANDO PNEUMATICO	VALVOLE PNEUMATICHE A COMANDO PNEUMATICO	CILINDRI PNEUMATICI
	PULSANTI E FINECORSA ELETTRICI, SENSORI MAGNETICI, ECC.	ELETTROPNEUMATICA (LOGICA CABLATA)	RELE'	VALVOLE PNEUMATICHE A COMANDO ELETTRICO	CILINDRI PNEUMATICI
	PULSANTI E FINECORSA ELETTRICI, SENSORI MAGNETICI, ECC.	ELETTROPNEUMATICA PNEUTRONICA (LOGICA CABLATA)	SCHEDE ELETTRONICHE	VALVOLE PNEUMATICHE A COMANDO ELETTRICO	CILINDRI PNEUMATICI
	PULSANTI E FINECORSA ELETTRICI, SENSORI MAGNETICI, ECC.	ELETTROPNEUMATICA PNEUTRONICA (LOGICA PROGRAMMABILE)	PLC, PERSONAL COMPUTER	VALVOLE PNEUMATICHE A COMANDO ELETTRICO	CILINDRI PNEUMATICI
2	VALVOLE DI SEQUENZA	OLEODINAMICA (LOGICA CABLATA)	VALVOLE OLEODINAMICHE	VALVOLE OLEODINAMICHE	CILINDRI OLEODINAMICI
	PULSANTI E FINECORSA ELETTRICI, SENSORI MAGNETICI, ECC.	ELETTRO-OLEODINAMICA (LOGICA CABLATA)	RELE'	ELETTROVALVOLE OLEODINAMICHE	CILINDRI OLEODINAMICI
	PULSANTI E FINECORSA ELETTRICI, SENSORI MAGNETICI, ECC.	OLEOTRONICA (LOGICA CABLATA)	SCHEDE ELETTRONICHE	ELETTROVALVOLE OLEODINAMICHE AZIONAMENTI ELETTRONICI	CILINDRI OLEODINAMICI
	PULSANTI E FINECORSA ELETTRICI, SENSORI MAGNETICI, ECC.	OLEOTRONICA (LOGICA PROGRAMMABILE)	PLC, PERSONAL COMPUTER	ELETTROVALVOLE OLEODINAMICHE AZIONAMENTI ELETTRONICI	CILINDRI OLEODINAMICI
3	PULSANTI, FINECORSA, RELE' TERMICI, SENSORI DI PROSSIMITA', ECC.	ELETTRICA (LOGICA CABLATA)	RELE'	CONTATTORI	MOTORI ELETTRICI
4	PULSANTI, FINECORSA, RELE' TERMICI, SENSORI DI PROSSIMITA', TRASDUTTORI, ECC.	ELETTRONICA (LOGICA CABLATA)	SCHEDE ELETTRONICHE	CONTATTORI AZIONAMENTI ELETTRONICI	MOTORI ELETTRICI
	PULSANTI, FINECORSA, RELE' TERMICI, SENSORI DI PROSSIMITA', TRASDUTTORI, ECC.	ELETTRONICA (LOGICA PROGRAMMABILE)	PLC, PERSONAL COMPUTER	CONTATTORI AZIONAMENTI ELETTRONICI	MOTORI ELETTRICI

Tab 3.1 - Apparecchiature utilizzate per realizzare sistemi automatizzati.

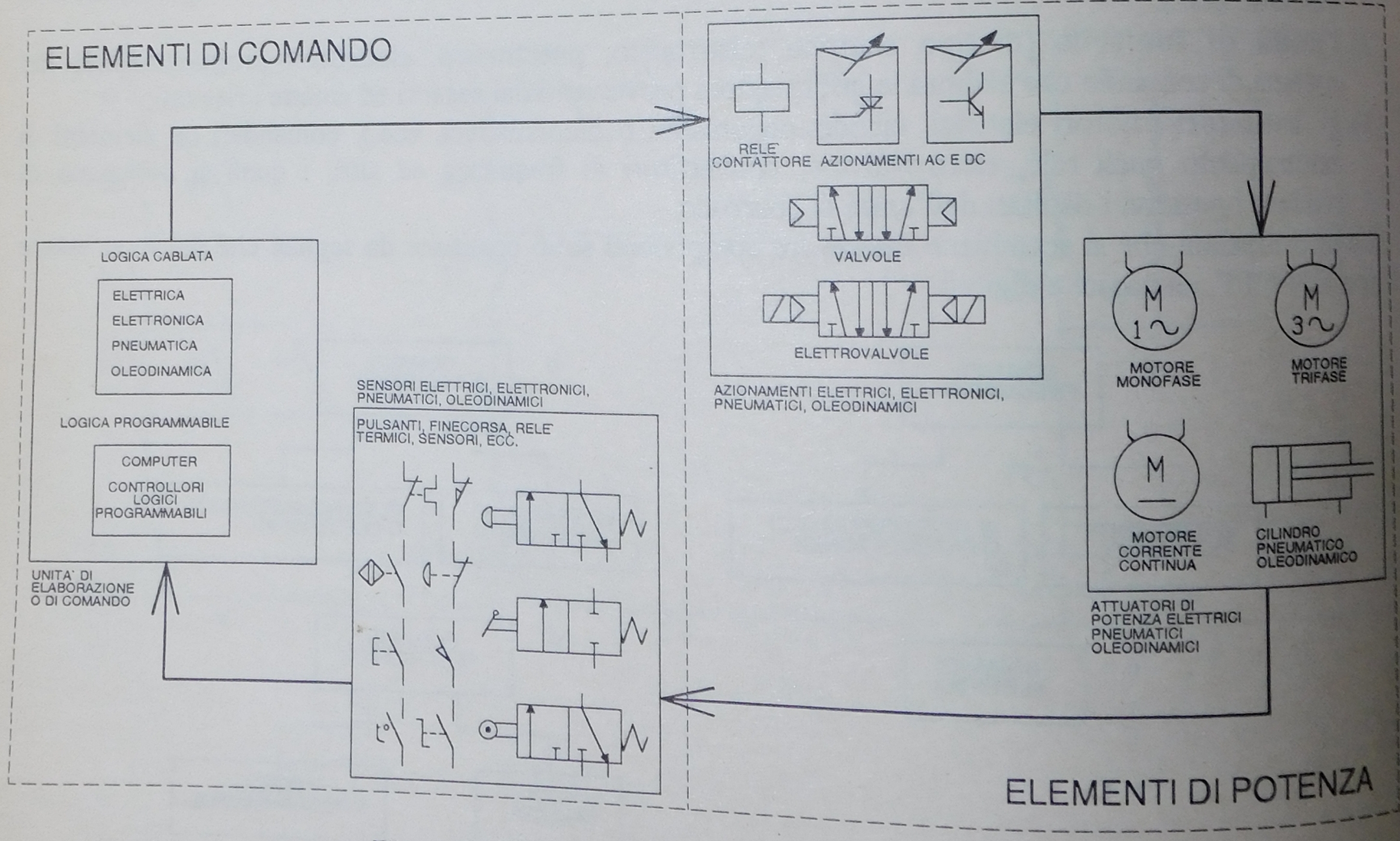


Fig. 3.2 - Struttura di un sistema automatizzato.

3.2 - COMANDI ELETTRONICI A LOGICA CABLATA E LOGICA PROGRAMMABILE

Un comando automatico può essere realizzato con logica cablata o programmabile, in particolare quella cablata può essere di tipo pneumatico, elettrico, elettronico; quella programmabile può essere realizzata con computer o PLC (vedi la tabella comparativa tab. 3.2 e l'organigramma per la scelta del tipo di comando a pagina 3.10).

Per quanto concerne i sistemi di comando pneumatici, le loro applicazioni riguardano in genere settori ben definiti, caratterizzati da bassi tempi di risposta (cicli lenti), ridotto tasso di complessità, un numero massimo di circa 50 ingressi/uscite e utilizzo negli ambienti deflagranti.

I sistemi elettromeccanici hanno rappresentato, sino ad alcuni anni fa, il modo più comune per realizzare un sistema automatizzato.

I relè infatti offrono una serie di vantaggi: sono apparecchiature semplici e robuste, con le quali si possono realizzare funzioni complesse, sono diffuse in tutto il mondo e garantiscono quindi una certa facilità nel reperimento di parti di ricambio, sono facili da usare.

Oltre agli aspetti positivi però comportano parecchi svantaggi, tra i quali il numero limitato di contatti azionati da una bobina, la difficoltà e il costoso rifacimento del cablaggio, la difficile localizzazione dei guasti, in quanto mancano in questi impianti sistemi autodiagnostici adeguati. Inoltre, in caso di guasto, l'impianto può fermarsi per molto tempo; i grossi sistemi automatizzati sono ingombranti e assorbono durante il funzionamento un'elevata potenza, infine la durata di queste apparecchiature è limitata nel tempo, dato che ci sono organi in movimento.

Agli svantaggi legati alle loro caratteristiche elettriche e meccaniche, si aggiunga che gli impianti moderni richiedono una più elevata sofisticatezza tecnologica, una maggiore flessibilità e una serie di funzioni che i relè non sono in grado di dare.

In particolare con i relè è impossibile comandare stampanti, monitor, oppure collegare diversi automatismi tra di loro (es. in rete locale); per il suddetto motivo questo sistema di comando tende ad essere sostituito da logiche programmabili, in particolare da PLC; ai relè è rimasta la funzione di interfacciamento tra la logica programmabile e gli attuatori di potenza e l'utilizzo nei piccoli automatismi.

Se il comando automatico deve avere prestazioni di un certo rilievo, la scelta di un comando elettronico cablato o meglio a logica programmabile diventa indispensabile.

Si riesce a raggiungere un buon grado di versatilità, in particolare con la logica cablata elettronica, ma nonostante tutto permette soluzioni concepite per realizzare determinate applicazioni, che non solo sono inservibili per altre utilizzazioni, ma spesso mal si adattano alla stessa macchina per cui sono state progettate e costruite quando queste richiedono delle varianti di funzionamento.

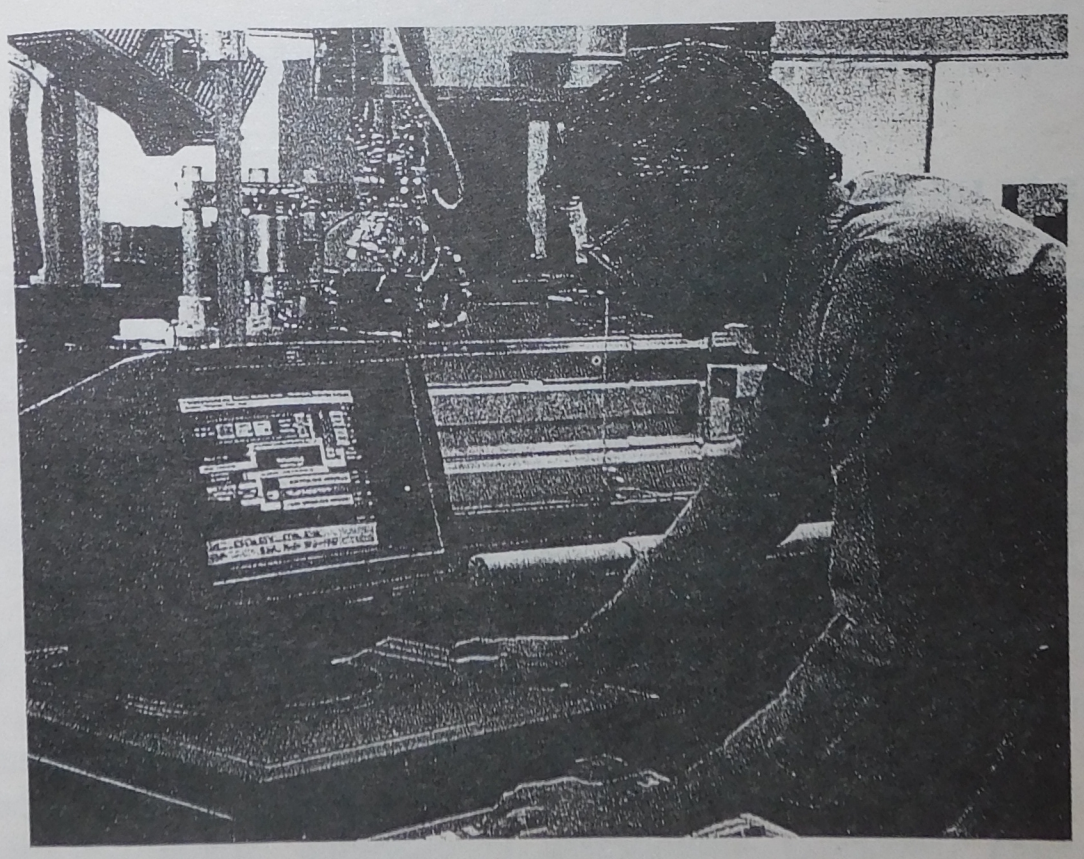


Fig. 3.3 - Esempio di supervisione di un sistema automatico mediante computer.

Si è pensato allora di realizzare apparecchiature aventi maggiore flessibilità, caratteristica questa che viene sempre più richiesta, in quanto riesce a ridurre i costi per rendere automatico un determinato processo.

Queste apparecchiature offrono il vantaggio di potersi adattare ad un certo ciclo automatico, intervenendo prevalentemente attraverso la modifica del programma e senza modificare i circuiti che compongono le apparecchiature.

È possibile trovare in commercio due tipi di apparecchiature programmabili: i computer e i PLC.

Attualmente i computer costituiscono l'organo supervisore per la gestione e la raccolta dei dati, ma l'esecutività dei comandi viene delegata ai PLC, infatti con un computer tradizionale si riescono a controllare sino a decine di PLC gestendo tutta una serie di funzioni.

I computer in genere offrono, a costi per altro più elevati, un'interfaccia uomo/macchina sicuramente migliore, infatti solo circa il 30% delle capacità del computer è dedicato al controllo della macchina, il resto è interfaccia con l'uomo.

Invece i PLC progettati e costruiti per lavorare in ambienti difficili, come quelli industriali, indirizzano tutte le loro capacità verso il processo produttivo.

Quindi la soluzione computer associato ai PLC consente di raggiungere l'obiettivo della fabbrica integrata, dove non è più sufficiente dare informazioni sulla macchina, ma occorre integrare informazioni di vario genere, quali le giacenze di magazzino e le richieste di produzione.

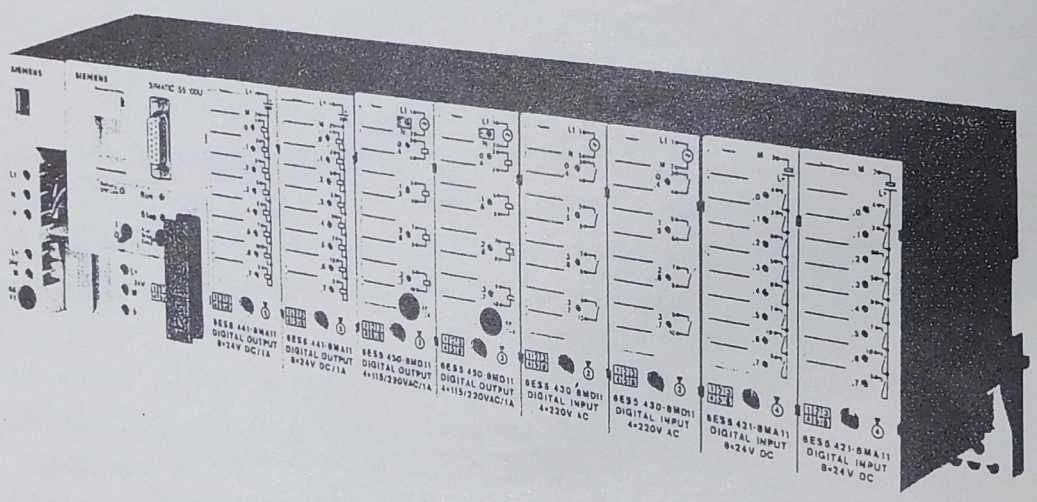


Fig. 3.4 - Controllore logico programmabile Siemens S5-100U.

3.3 - DEFINIZIONE DI UN PLC

Attualmente, come si è detto in precedenza, accanto alla parola logica si tende sempre più a specificare se questa è cablata o programmabile.

Per apparecchiature a **logica cablata** si intendono quelle in cui le funzioni decisionali si ottengono collegando in **hardware** diversi elementi logici, sia statici (transistor, circuiti integrati, ecc.) che elettromeccanici (relè).

Questo tipo di logica presenta caratteristiche ben definite e pertanto difficilmente modificabili: può quindi essere utilizzata per controlli di macchine o processi sufficientemente stabili, che non richiedono modificazioni nè in fase di messa in servizio nè in fase operativa.

Attualmente però gli elevati costi di cablaggio e di manutenzione hanno ridotto la scelta di questo tipo di logica a poche applicazioni su apparecchiature estremamente semplici.

Le apparecchiature a **logica programmabile (hardware)** sono in grado di realizzare tutte le principali funzioni logiche, richieste per la conduzione di una macchina o di un processo operativo, secondo un determinato **programma (software)** memorizzato in opportuni circuiti dell'apparecchiatura stessa (**memoria**) e con un grado di flessibilità estremamente elevato.

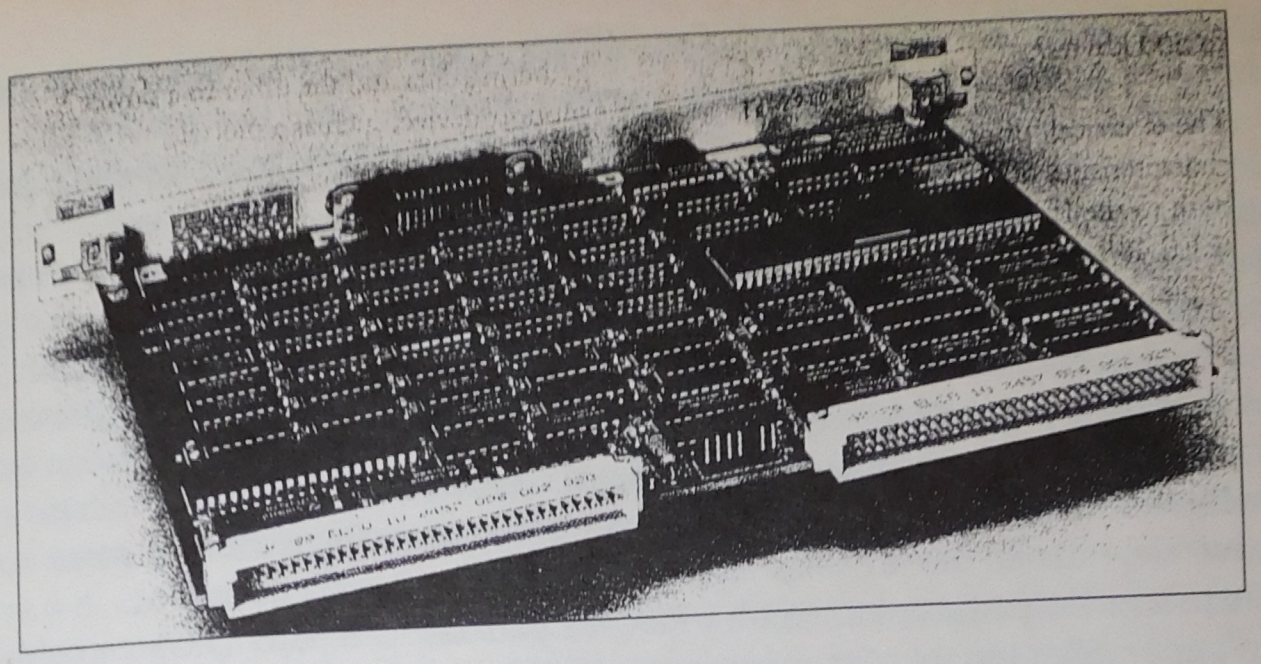


Fig. 3.5 - Esempio di circuito stampato con relativi componenti elettronici.

Risulta quindi evidente che un intero ciclo produttivo o un controllo di processo può essere modificato a piacere, anche in fase operativa, semplicemente cambiando il contenuto della **memoria**, cioè modificando il **programma**.

Oltre ai problemi di cablaggio, le logiche programmabili hanno brillantemente risolto il problema della componentistica.

Se si prende in considerazione un sistema statico, esso è composto da un numero elevato di relè o schede elettroniche con elementi AND, OR, NOT, contatori, registri, sommatori, memorie, ecc.

Tutte le funzioni, che nei sistemi a logica cablata sono estremamente rigide (ogni relè o scheda elettronica ha una propria funzione), nei controllori programmabili sono ottenibili mediante la programmazione di un unico tipo di scheda di memoria.

Questa ulteriore caratteristica delle logiche programmabili fa sì che la struttura hardware (circuito elettronico) possa essere dimensionata indipendentemente dalla complessità del ciclo macchina o del processo.

Apparecchiature di questo tipo prendono nome di **controllori a logica programmabile** (**PLC = Programmable Logic Controllers**).

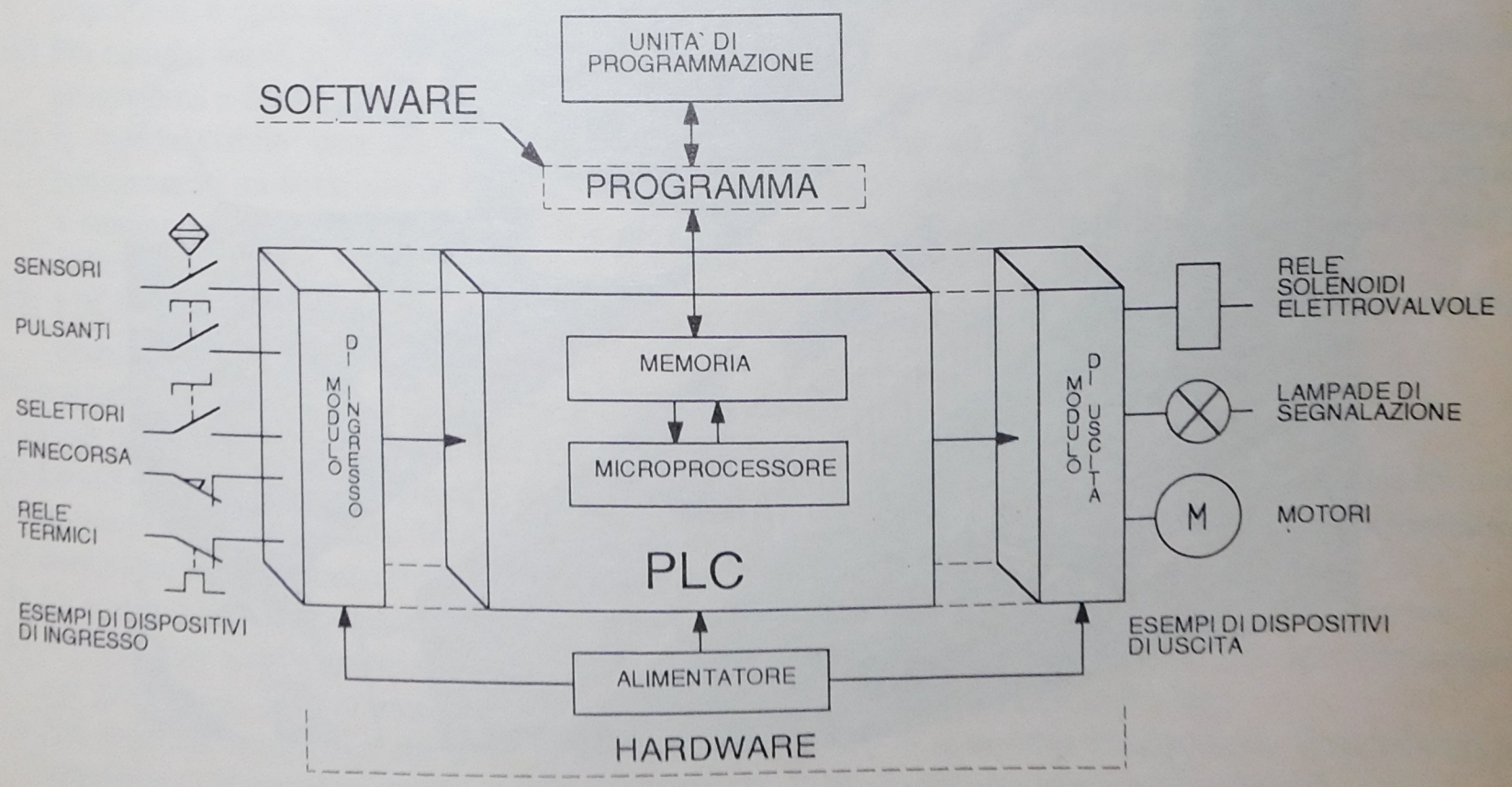


Fig. 3.6 - Schema a blocchi semplificato di un PLC.

Alla sua nascita (il primo modello commerciale fu sviluppato nel 1969 dalla Modicon per la General Motors Hydramatic Divison) il controllore programmabile era essenzialmente un dispositivo programmabile che sostituiva i relè, con in più la possibilità di disporre di temporizzatori, contatori e registri a scorrimento (shift register).

Esso riceveva i segnali dagli elementi di ingresso e, sulla base del programma, agiva per sequenziare il comando di organi come contattori, elettrovalvole, relè, ecc.

Successive innovazioni, quali funzioni aritmetiche, subsistemi remoti di ingresso/uscita (I/O), possibilità di gestire segnali analogici, funzioni evolute (come la generazione di rapporti di produzione, listati dei programmi, visualizzazione dei dati o messaggi mediante unità periferiche, archiviazione e richiamo di dati, trasferimento dei dati tramite linea telefonica (modem), funzionamento in rete collegato con altri PLC, computer, controlli numerici, ecc.) hanno reso il controllore programmabile una parte integrale di molte applicazioni relative al controllo dei processi, favorendone così un'ampia diffusione.

Esiste una notevole analogia tecnologica tra i PLC e i personal computer (PC), entrambi definibili come dei microcomputer che utilizzano un microprocessore (CPU) per coordinare tutte le operazioni interne.

In realtà un computer è un calcolatore progettato per la soluzione di problematiche non specifiche, perciò viene definito di "uso generale".

Infatti un computer viene utilizzato per elaborazione di testi, grafica, gestione di dati, progettazione, calcoli; può essere usato anche per il controllo industriale utilizzando però particolari interfacce.

Il controllore logico programmabile è invece progettato per la soluzione di problemi di controllo e di automazione, infatti non è in genere in grado di elaborare dati o numeri, ma al contrario elabora segnali elettrici analogici e digitali, sia in ingresso che in uscita.

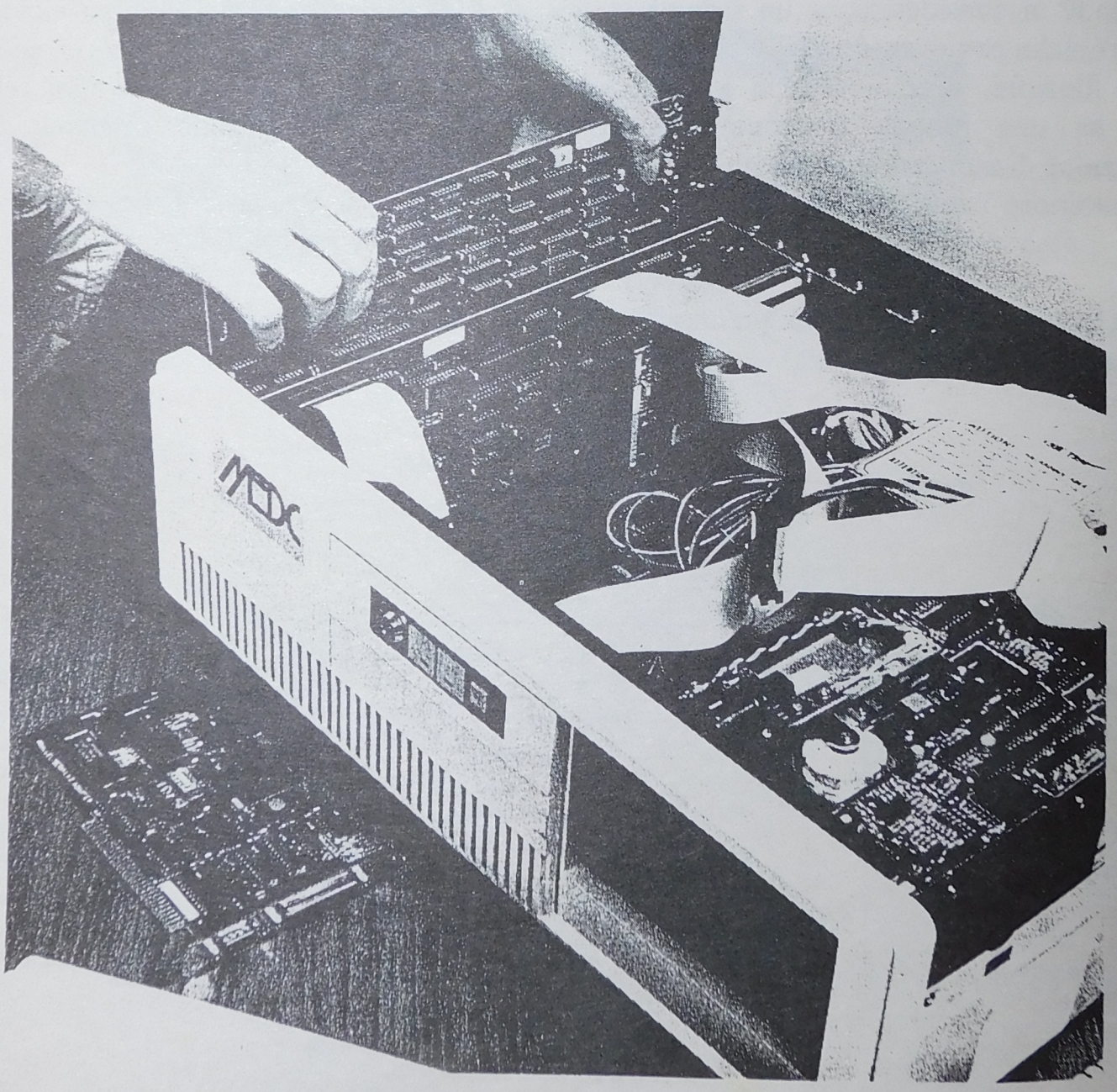


Fig. 3.7 - Inserimento di una scheda di interfaccia in un personal computer.

3.4 - VANTAGGI E LIMITI DEL PLC RISPETTO ALLA LOGICA CABLATA

Oltre a quanto precedentemente descritto, i controllori programmabili presentano svariati vantaggi rispetto alle logiche cablate.

1) L'apparecchiatura è di carattere standard, composta di una varietà minima di elementi; a seconda delle esigenze, diventa perciò possibile modificare o ampliare apparecchiature già esistenti mediante la sostituzione o l'aggiunta di tali elementi. Questo consente di realizzare quadri elettrici di comando con funzioni sofisticate, ma ordinati e di semplice realizzazione.
2) Il cablaggio si riduce al solo collegamento degli organi di ingresso (pulsanti, finecorsa, sensori, ecc.) e di uscita (contattori, relè, elettrovalvole, lampade, azionamenti elettronici, ecc.), fattore importante anche quando si effettuano delle variazioni funzionali, poichè ciò non richiede modifiche costruttive o di cablaggio.
3) Le funzioni che deve svolgere il controllore sono definite dal programma che risulta indipendente dagli organi di ingresso e di uscita, in quanto esso rileva solo lo stato dei segnali in ingresso e in uscita; inoltre il programma può essere in genere compilato in vari linguaggi al fine di adattare al meglio le conoscenze specifiche del personale addetto alla realizzazione dell'automazione.
4) In caso di eliminazione di un macchinario, l'apparecchiatura di controllo (PLC) è ancora utilizzabile per un'applicazione anche diversa, è sufficiente riprogrammarla per il suo nuovo compito.
5) Il PLC può essere applicato su macchine già in funzione, sostituendo solo la logica cablata, mantenendo gli organi di ingresso e di uscita.
6) È possibile apportare modifiche al programma anche mentre la macchina è installata.
7) Il PLC mette a disposizione, contrariamente ai sistemi di controllo di tipo elettromeccanico, un numero di relè, temporizzatori, contatori, ecc. molto alto e per ognuno di essi un numero di contatti elevato (es. centinaia), tale numero è limitato esclusivamente dalla quantità di memoria presente sul controllore.
8) È completamente statico e con componenti integrati, acquista così un'ottima affidabilità, un ingombro minimo e un'elevata sicurezza di funzionamento grazie anche all'uso di sofisticate procedure diagnostiche. Si semplifica inoltre la manutenzione dell'impianto.
9) A partire da un certo numero di funzioni, il costo del PLC è nettamente competitivo rispetto ai corrispondenti sistemi a logica cablata sia di tipo elettromeccanico che di tipo elettronico, attualmente si può dire che, a partire da 6/8 contattori ausiliari, i costi di cablaggio fanno preferire una soluzione a logica programmabile. I progressi fatti dalla tecnologia elettronica rendono disponibili, a costi sempre più contenuti, PLC con prestazioni via via crescenti.
10) Più compiti simili possono essere programmati una sola volta, in quanto la memoria che contiene il programma è facilmente duplicabile e altrettanto facilmente può essere installata su altri PLC.
11) È interfacciabile con stampanti, terminali video anche di tipo grafico, personal computer, consentendo un controllo di tipo ON LINE dell'impianto, questo tra l'altro consente di visualizzare e stampare rapidamente e in qualsiasi momento dati, messaggi e tutta la documentazione relativa all'impianto.
12) I PLC più moderni e potenti sono in grado di operare con numeri, effettuare regolazioni (es. PID), prendere decisioni.

Non trascuriamo però alcuni limiti a cui il PLC è soggetto.

1) Esso non elimina completamente i relè, in particolare nei circuiti di potenza.
2) La sua velocità operativa (tempo di ciclo) può in alcuni casi, anche se raramente, essere insufficiente.
3) Richiede un investimento iniziale che lo rende vantaggioso solo per applicazioni sufficientemente complesse (vedi il punto 9 relativo ai vantaggi).
4) La sostituzione per qualsiasi motivo di alcuni moduli (es. unità centrale) risulta a volte costosa.
5) Il PLC deve essere associato, per questioni di sicurezza, a particolari circuiti (es. elettromeccanici) per garantire in caso di emergenza l'arresto in regime di sicurezza dell'impianto.
6) Nei processi automatici che avvengono in impianti dove ci sono alte temperature, forti vibrazioni e interferenze elettromagnetiche, occorre proteggere il PLC con opportuni accorgimenti.
7) Il PLC introduce un nuovo modo di lavorare, che non sempre è bene accetto, anche se con il passare del tempo questo problema assume sempre minore incidenza.

CARATTERISTICHE	LOGICA CABLATA		LOGICA PROGRAMMATA	
	ELETTROMECCANICA	ELETTRONICA	PLC	COMPUTER
PREZZO PER FUNZIONE	ABBASTANZA BASSO	BASSO	BASSO	ABBASTANZA ALTO
DIMENSIONI FISICHE	VOLUMINOSE	MOLTO COMPATTE	MOLTO COMPATTE	ABBASTANZA COMPATTE
VELOCITA` OPERATIVA	LENTA	MOLTO VELOCE	VELOCE	ABBASTANZA VELOCE
IMMUNITA` AI DISTURBI ELETTRICI	ECCELLENTE	BUONA	BUONA	PIUTTOSTO BUONA
INSTALLAZIONE	ELEVATI TEMPI PER LA PROGETTAZIONE E L'INSTALLAZIONE	ELEVATI TEMPI PER LA PROGETTAZIONE	SEMPLICE DA PROGRAMMARE E DA INSTALLARE	ELEVATI TEMPI PER LA PROGRAMMAZIONE INSTALLAZIONE NON SEMPRE SEMPLICE
CAPACITA` DI COMPLICATE OPERAZIONI	NO	SI	SI	SI
FACILITA` DI CAMBIAMENTO FUNZIONI	MOLTO DIFFICILE	DIFFICILE	MOLTO SEMPLICE	PIUTTOSTO SEMPLICE
MANUTENZIONE	DIFFICILE ELEVATO NUMERO DI CONTATTI	DIFFICILE SE I CIRCUITI INTEGRATI SONO SALDATI	SEMPLICE POCHE SCHEDE STANDARD	DIFFICILE POCHE SCHEDE FATTE SU ORDINAZIONE

Tab. 3.2 - Comparazione di sistemi di controllo elettrici-elettronici.

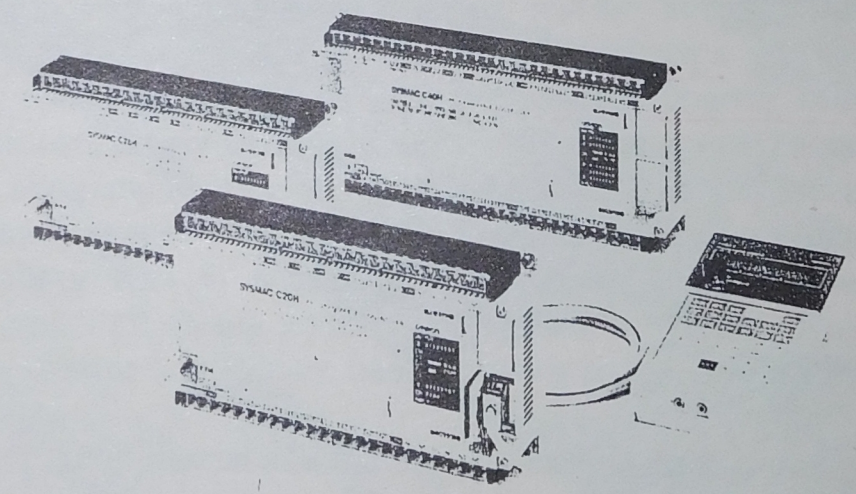


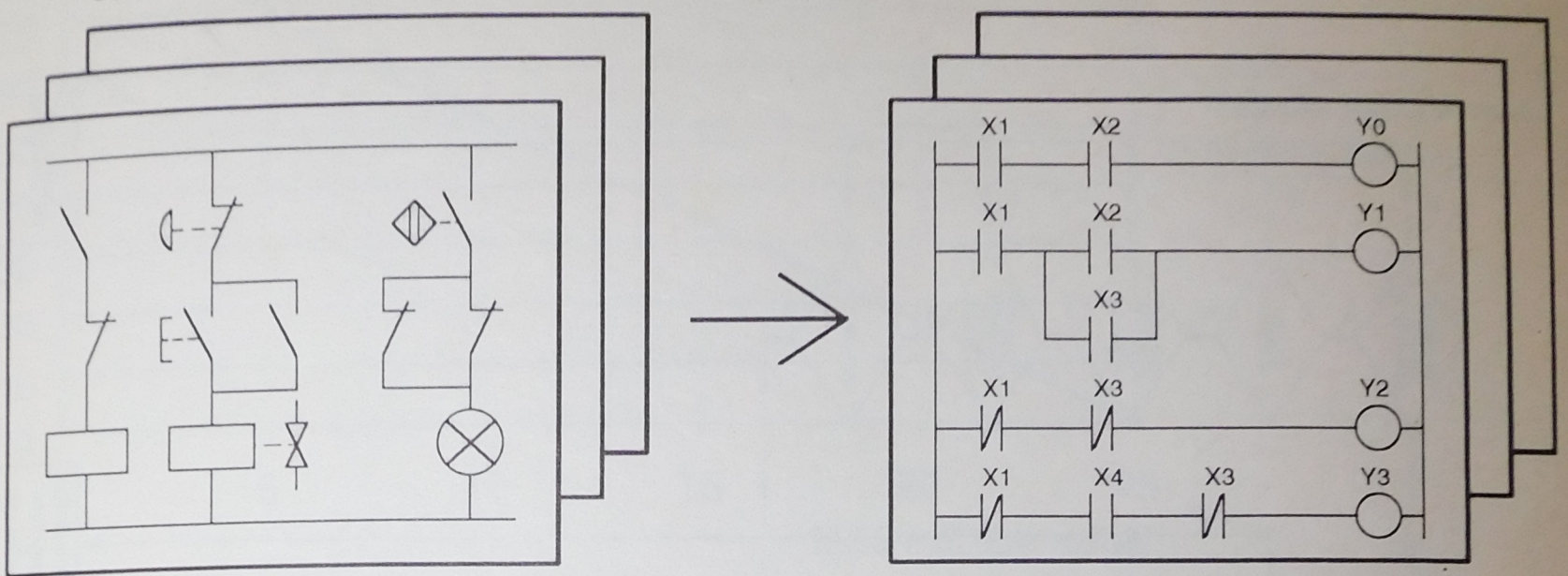
Fig. 3.8 - Controllori logici programmabili Omron SYSMAC C20/28/40H.

QUADRO ELETTRICO
CON LOGICA ELETTROMECCANICA

QUADRO ELETTRICO
CON LOGICA PROGRAMMABILE

SCHEMA FUNZIONALE A CONTATTI

DIAGRAMMA LADDER (PROGRAMMA)



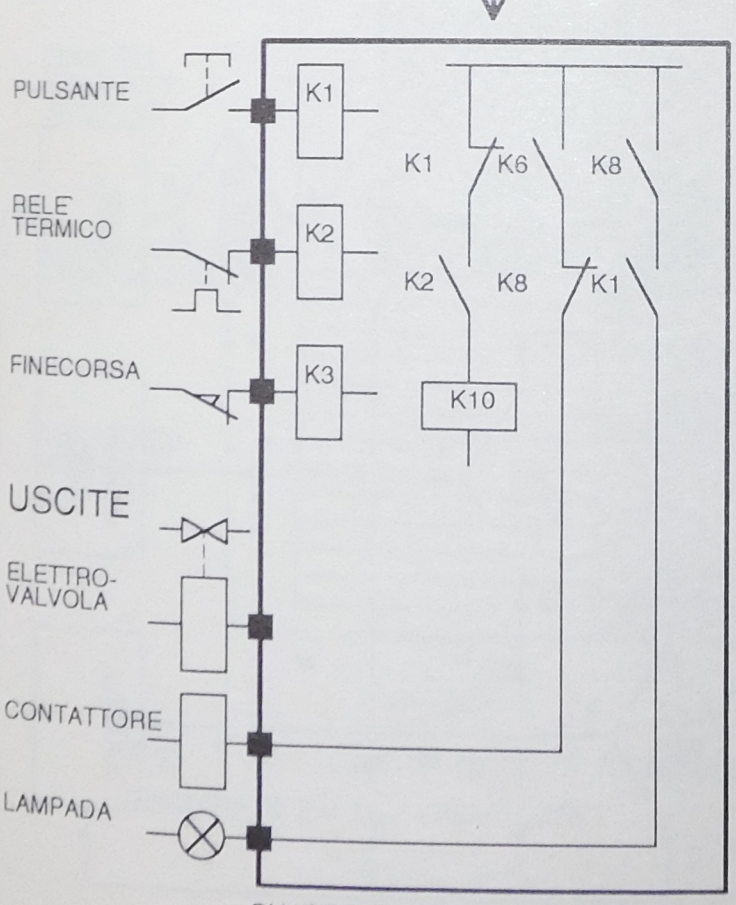
CABLARE → **PROGRAMMARE**

APPARECCHIATURE ESTERNE AL QUADRO ELETTRICO

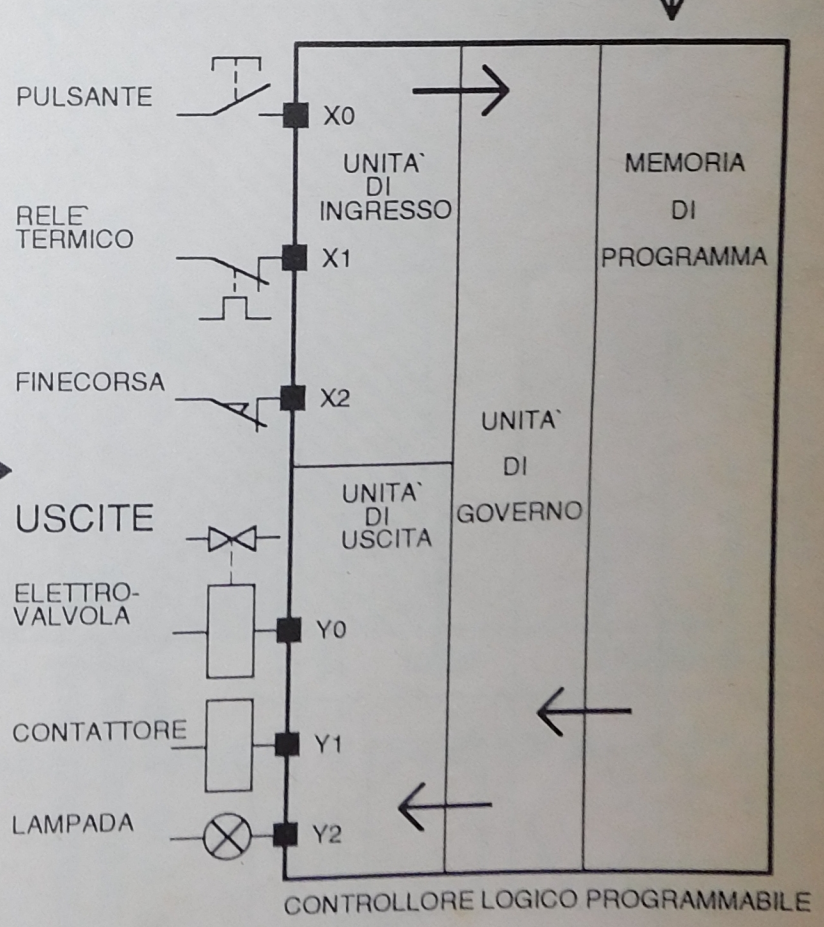
INGRESSI

APPARECCHIATURE ESTERNE AL PLC

INGRESSI



QUADRO ELETTRICO CABLATO



CONTROLLORE LOGICO PROGRAMMABILE

NOTA: LE APPARECCHIATURE ESTERNE AL QUADRO ELETTRICO SONO UGUALI A QUELLE ESTERNE AL PLC

Fig. 3.9 - Confronto tra un comando elettromeccanico ed un comando a logica programmabile.

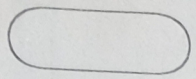
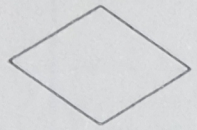
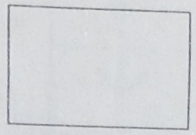
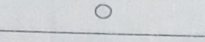
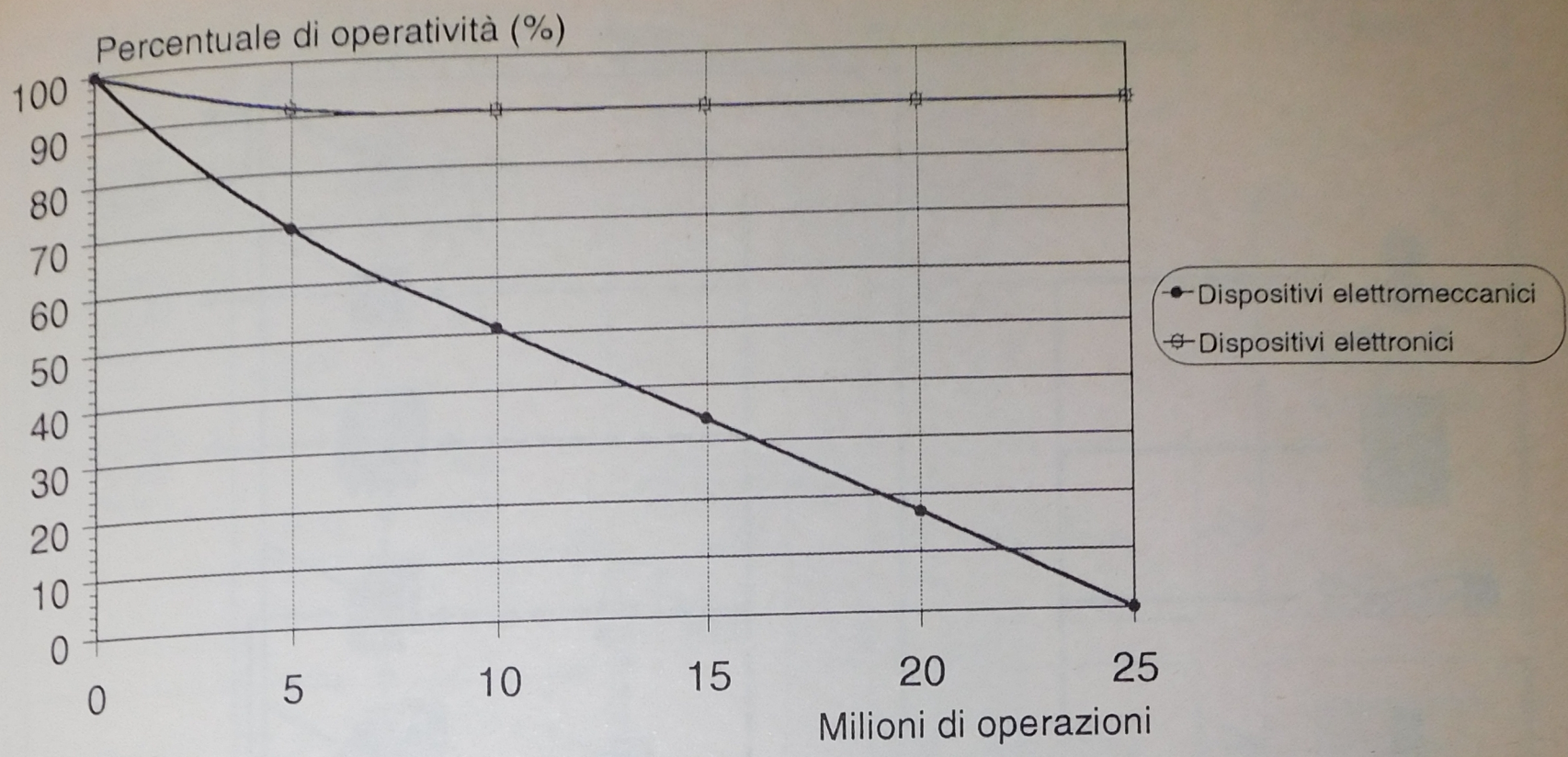
SIMBOLO	SIGNIFICATO
	BLOCCO DI INIZIO O DI FINE
	BLOCCO DI SCELTA
	BLOCCO DI ELABORAZIONE
	NODO
	DIREZIONE DEL FLUSSO DEL PROGRAMMA

Fig. 3.10 - Criteri di scelta per la risoluzione di problemi di automazione con tecnologia pneumatica, elettrica e elettronica.



(Fonte Reliance)

Fig. 3.11 - Vita operativa dei dispositivi elettromeccanici ed elettronici.

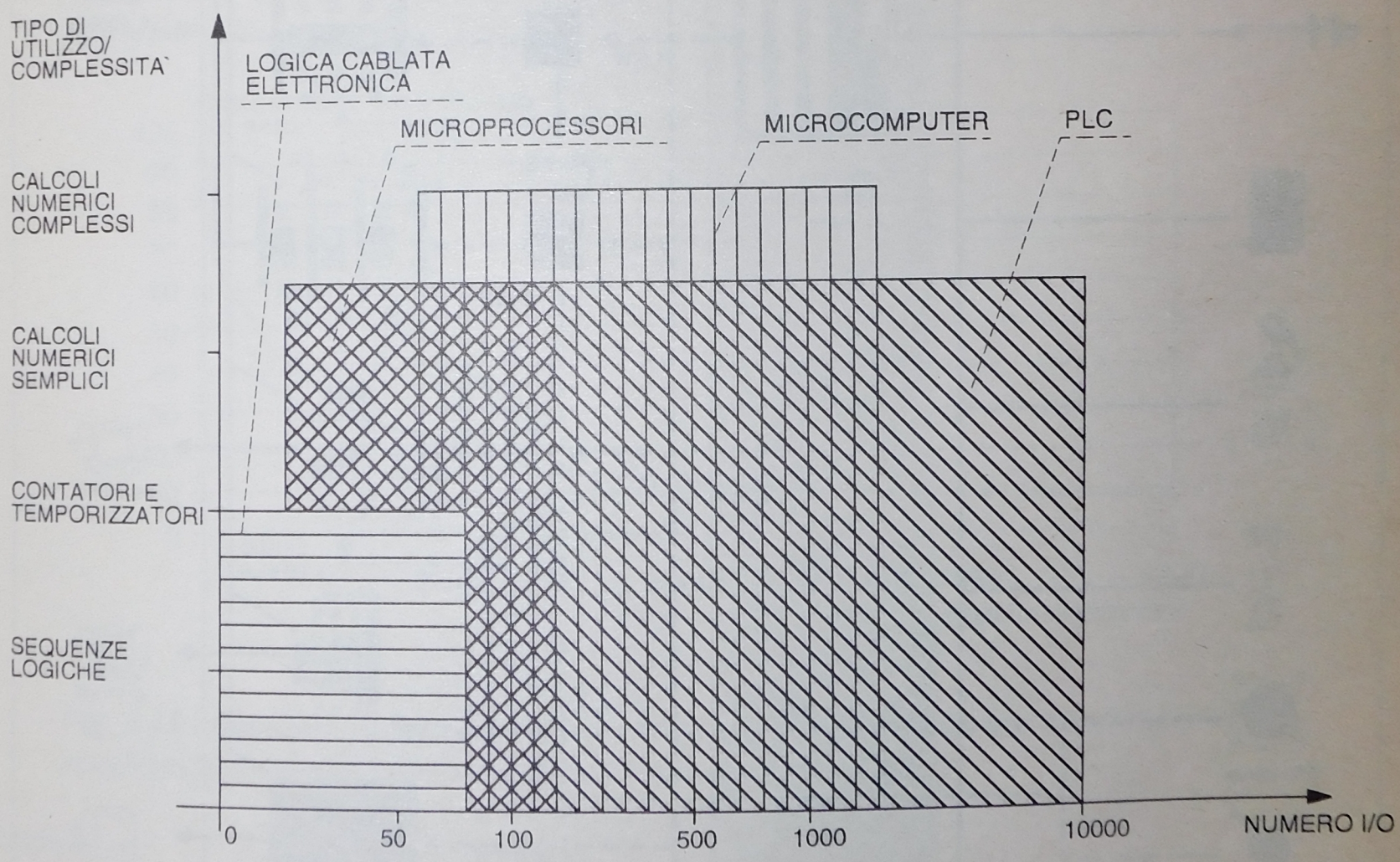


Fig. 3.12 - Uso di diverse tecnologie elettroniche in relazione al tipo di utilizzo e al numero degli I/O impiegati.

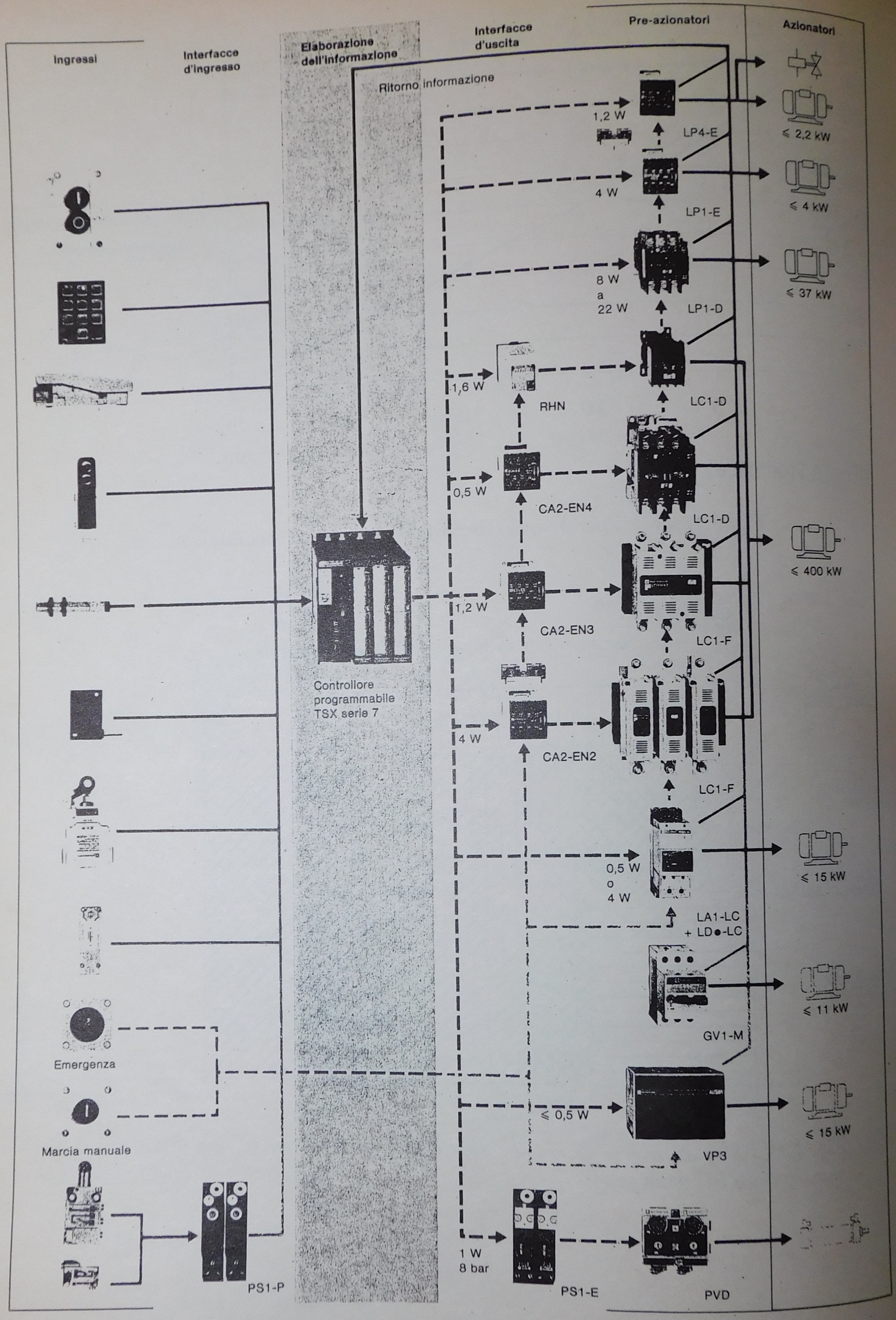


Fig. 3.13 - Esempio di interfacce per controllori programmabili Telemecanique TSX serie 7.

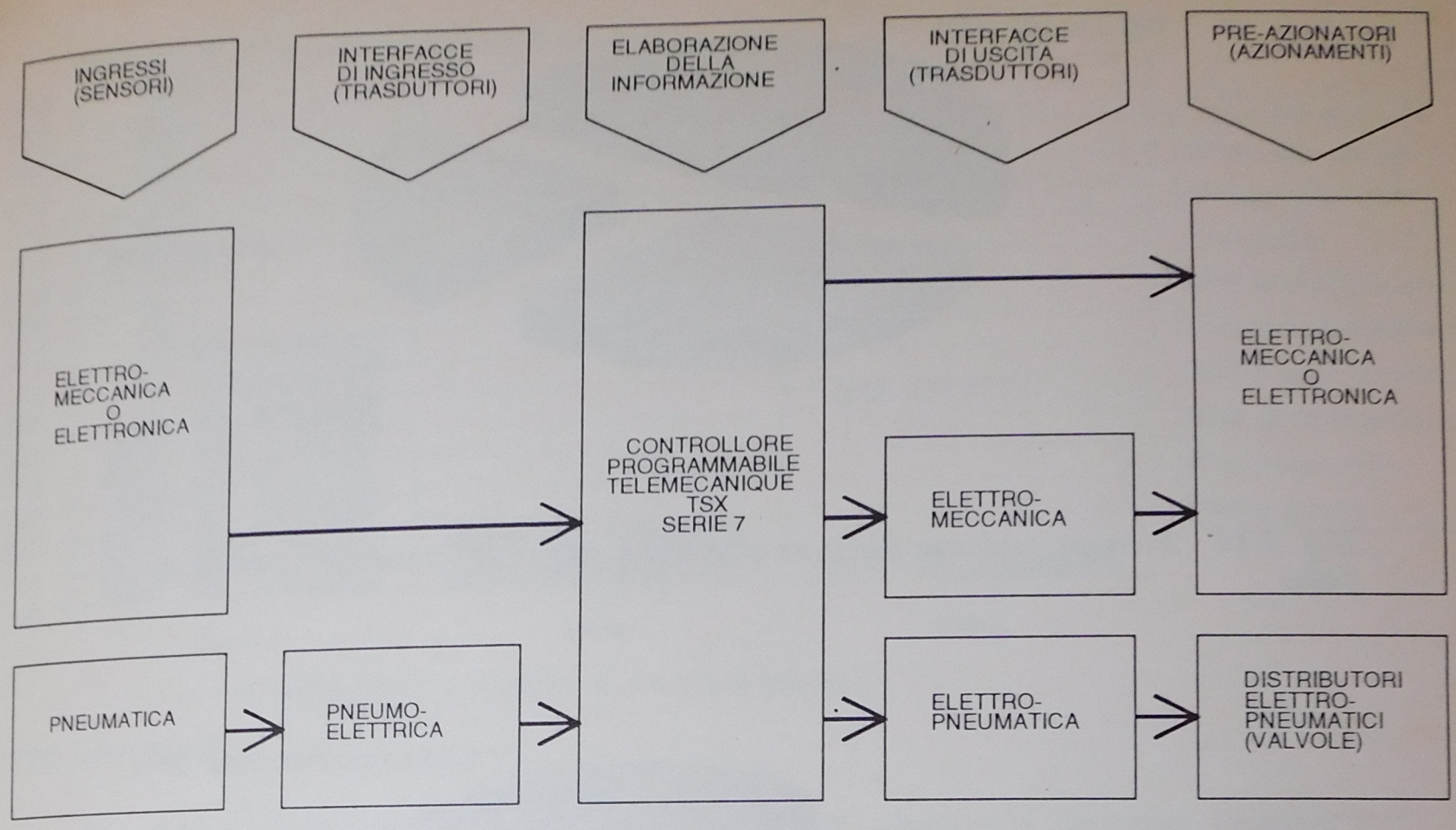


Fig. 3.14 - Guida alla scelta delle interfacce per controllori programmabili Telemecanique.

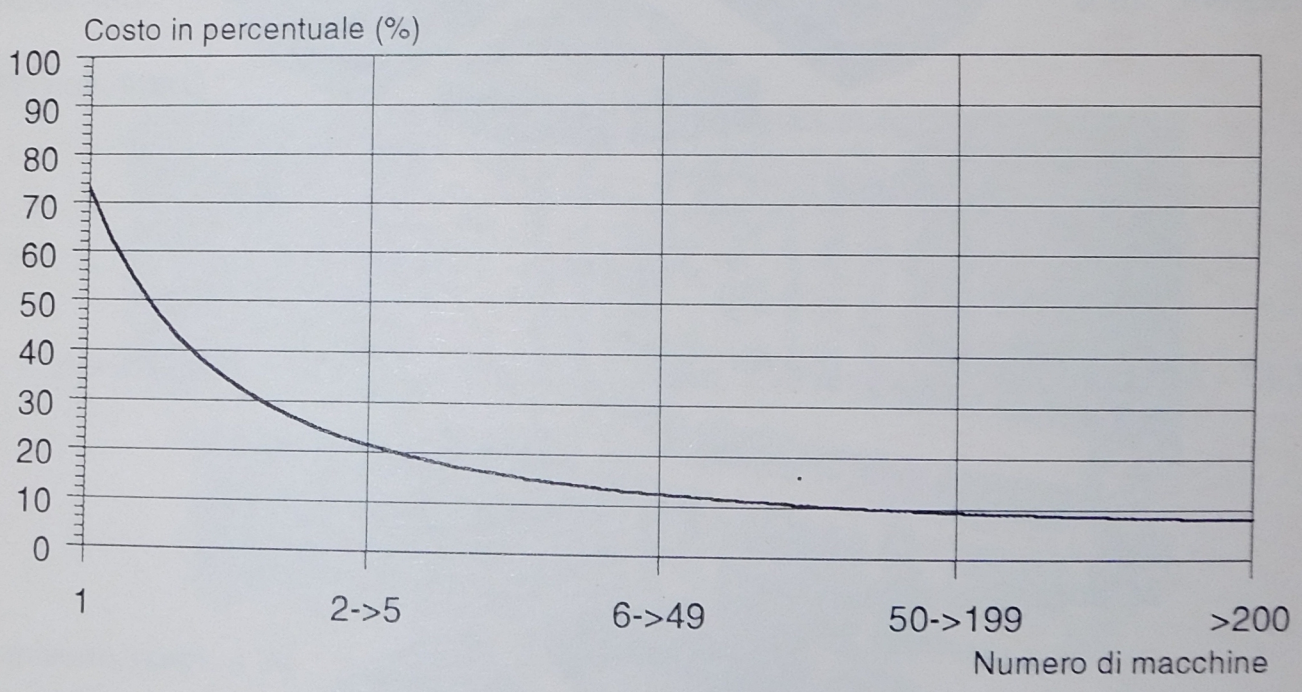
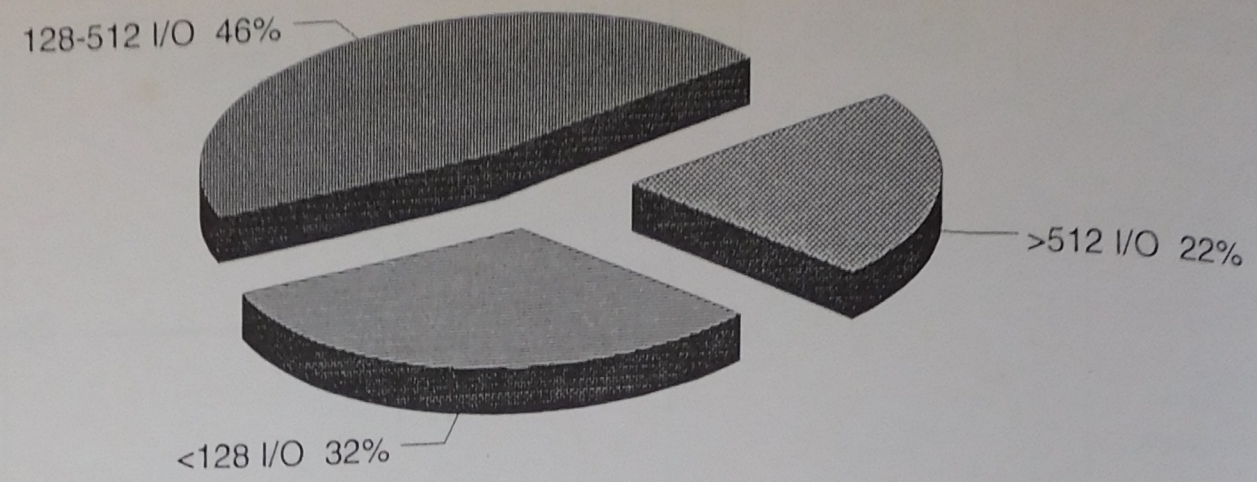


Fig. 3.15 - Incidenza approssimativa del costo di un PLC (hardware e software) in una macchina in funzione del numero di macchine costruite (Festo).

Esempio:

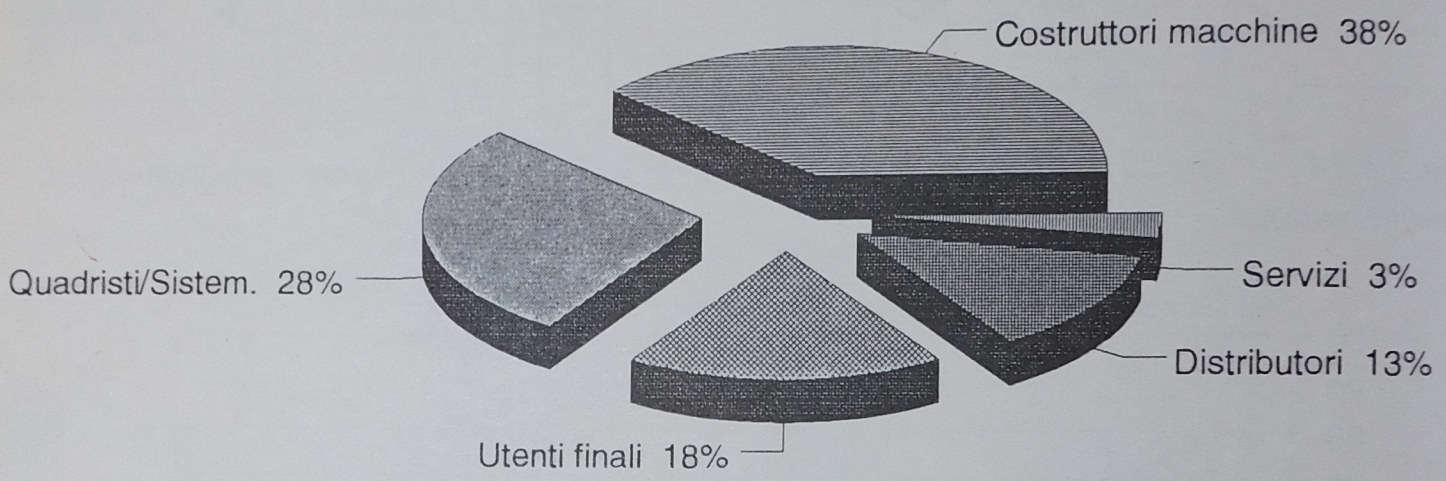
	Costo per una macchina	Costo per 200 macchine
	£	£
PLC	1500000	700000
Unità di programmazione	3500000	0
Software (100 h x £ 60000)	6000000	0
Totale PLC + software	10000000	700000

Nell'esempio il costo totale del PLC + software nel caso si debba costruire 200 macchine è circa il 7% rispetto al costo che si ha se si costruisce una sola macchina.



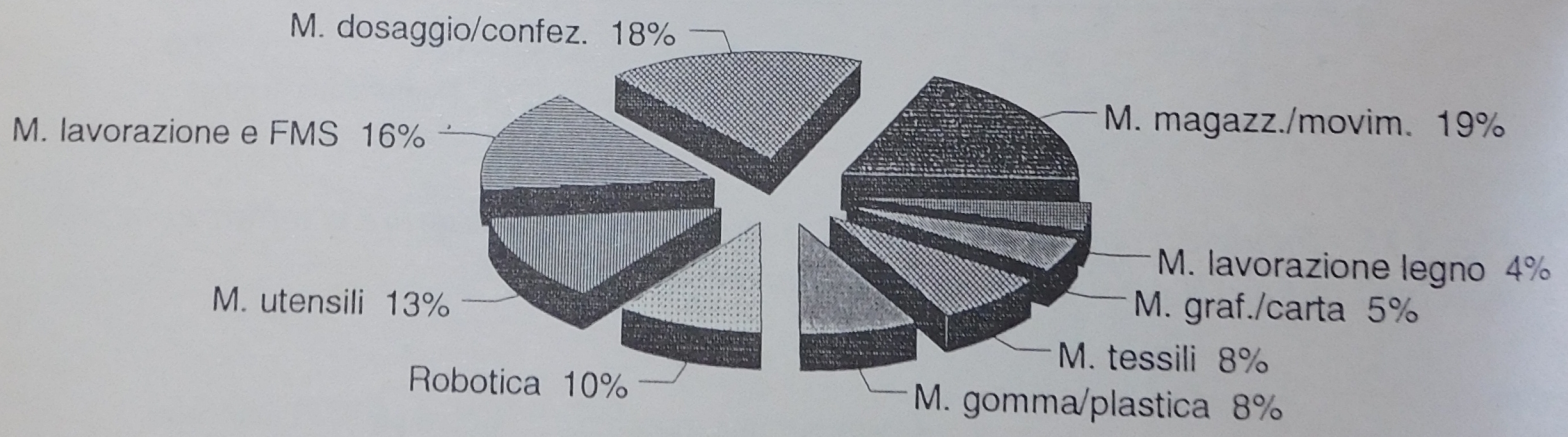
(Fonte ANIE)

Fig. 3.16 - Mercato italiano PLC: in quantità e sua ripartizione per numero di I/O - 1989.



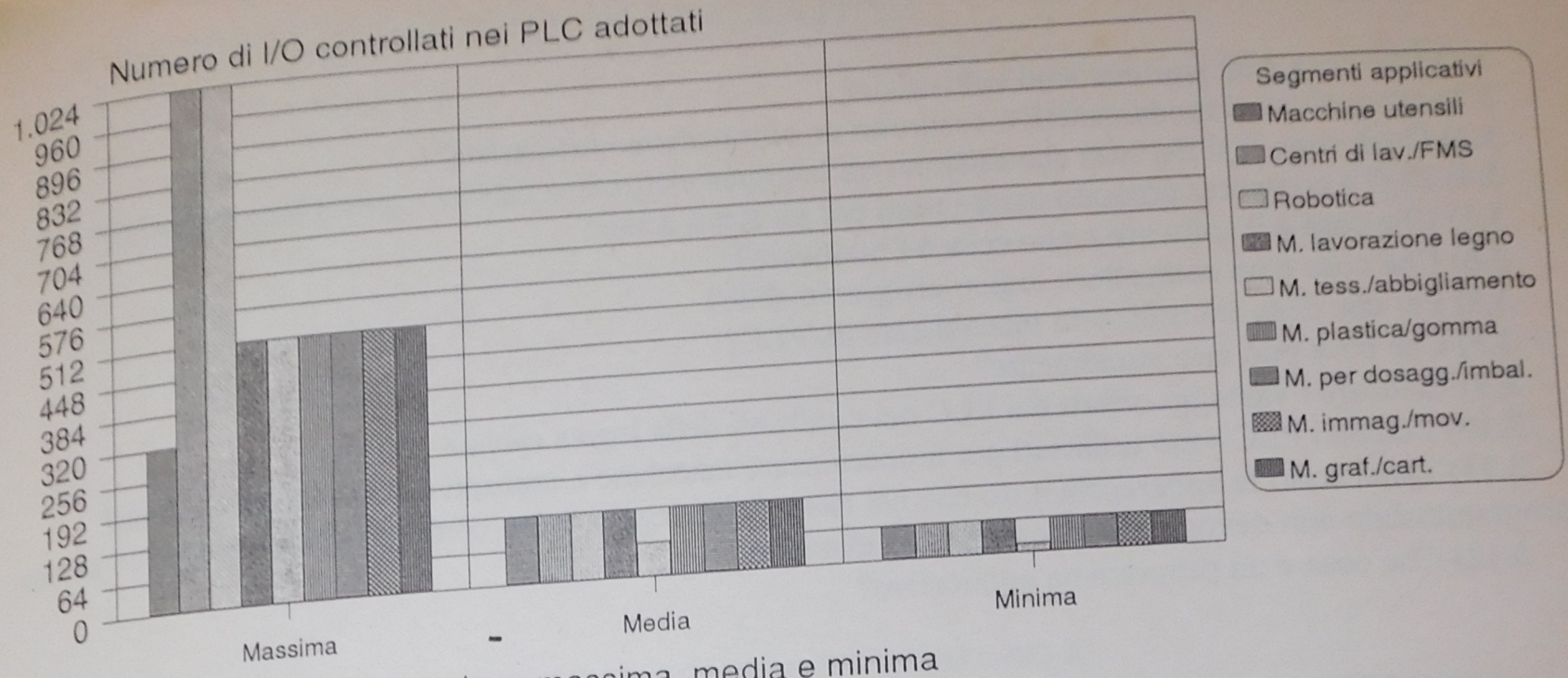
(Fonte ANIE)

Fig. 3.17 - Mercato italiano dei PLC: suddivisone per categorie merceologiche - 1989.



(Fonte Teknibank)

Fig. 3.18 - Settori applicativi dei PLC: mercato italiano - 1990.



(Fonte Teknibank)

Fig. 3.19 - Richiesta di PLC nei diversi segmenti applicativi: mercato italiano - (numero di I/O: configurazione massima, media e minima).

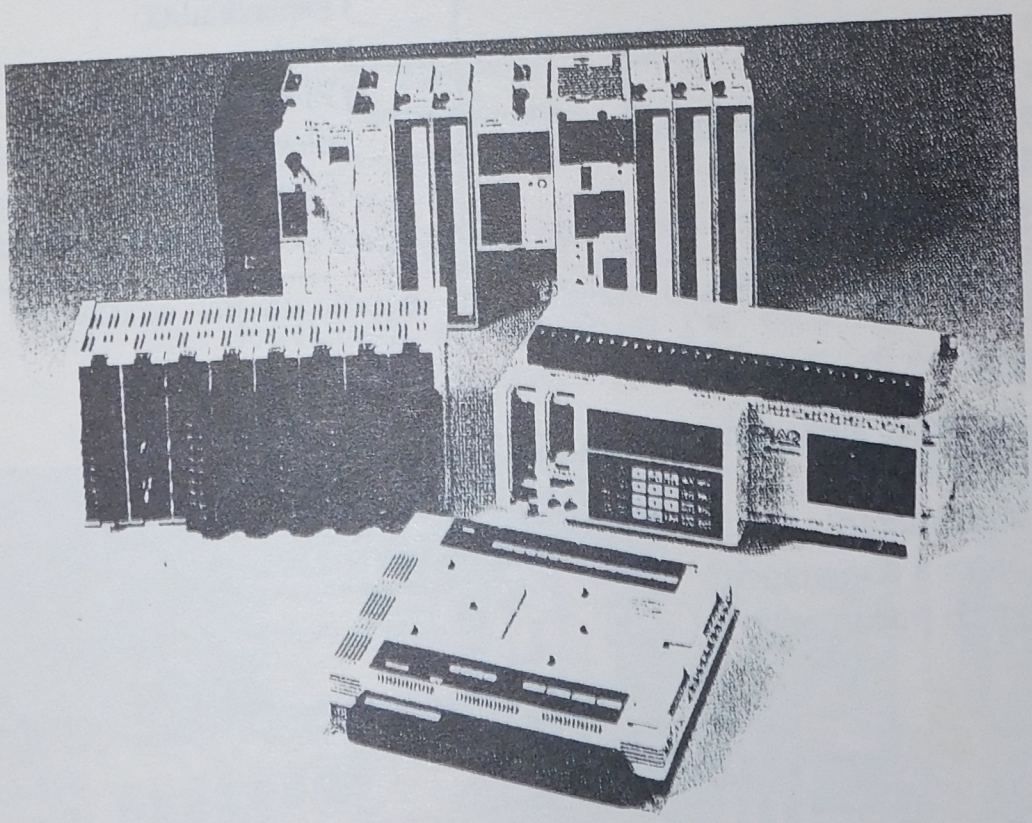


Fig. 3.20 - Controllori logici programmabili Hitachi serie H.

3.5 - DOMANDE

3.1) Che cosa è un automatismo industriale?
3.2) Da quali parti fondamentali è costituito un automatismo industriale?
3.3) Quali sono le differenze che esistono tra la logica elettronica cablata e quella programmabile?
3.4) PLC e computer possono essere usati per gli stessi scopi?
3.5) Che cosa è il software e che cosa è l'hardware?
3.6) Che cosa è un controllore logico programmabile?
3.7) Per che cosa era utilizzato inizialmente un PLC?
3.8) Che cosa può fare attualmente?
3.9) Elencare i vantaggi offerti dai PLC nei confronti della logica cablata.
3.10) Perchè i PLC sono utilizzati per modernizzare macchine o impianti automatici già esistenti?
3.11) Quali sono le apparecchiature che nel caso di passaggio da un comando elettromeccanico ad uno programmabile non devono essere cambiate o eliminate?
3.12) Che cosa è un programma applicativo?

3.6 - ESERCIZI

3.1) Disegnare lo schema a blocchi di un PLC, con i dispositivi di ingresso e di uscita.
3.2) Abbinare le seguenti caratteristiche del controllore logico programmabile con i benefici che esso offre:

CARATTERISTICHE DEI PLC	VANTAGGI
A) Uso di componenti allo stato solido	____) Minimo spazio richiesto
B) Piccole dimensioni	____) Espandibilità
C) Software con uso di temporizzatori e contatori	____) Collegamento con personal computer
D) Uso di procedure diagnostiche	____) Riduzione dei cablaggi
E) Uso di memorie per memorizzare i programmi	____) Elevata sicurezza di funzionamento
F) Architettura basata su moduli standard	____) Facile duplicazione dei programmi
G) Apparecchiatura interfacciabile	____) Possibilità di modifica dei valori di preset

3.3) Utilizzando il diagramma di flusso scegliere la tecnologia più adatta per realizzare i seguenti automatismi:
a) impianto semaforico
b) impianto per l'avviamento stella/triangolo di un motore asincrono trifase
c) impianto per il lavaggio auto
d) impianto di imbottigliamento
e) comando di un motore a due velocità
f) comando di un cilindro pneumatico

4. - CONTROLLORI PROGRAMMABILI

4.1 - DESCRIZIONE DI UN CONTROLLORE PROGRAMMABILE

Un controllore programmabile, come qualsiasi altro sistema più complesso (minicomputer, computer, ecc.), è un sistema logico in grado di realizzare un insieme ordinato di operazioni definite da comandi.

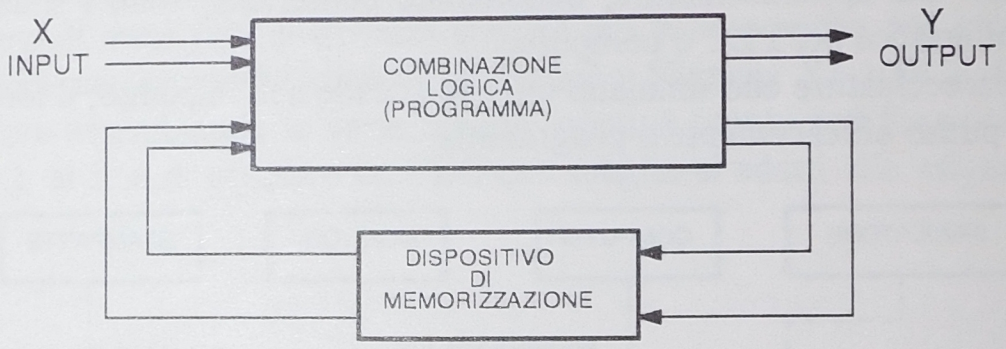


Fig. 4.1 - Circuito sequenziale con memoria.

I comandi, comunemente detti **istruzioni**, sono stabiliti per ogni tipo di controllore in fase di progettazione dello stesso, vanno così a costituire il cosiddetto **linguaggio di programmazione**.

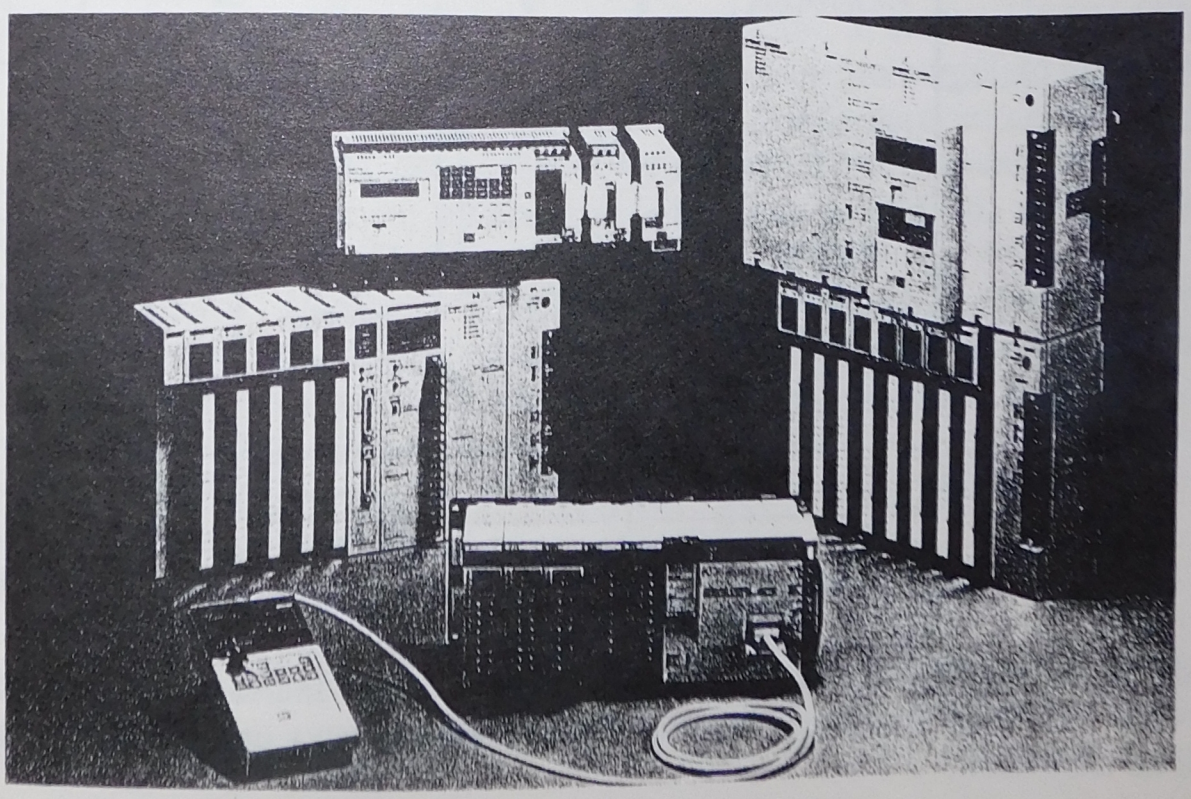


Fig. 4.2 - Controllori programmabili Omron serie SYSMAC.

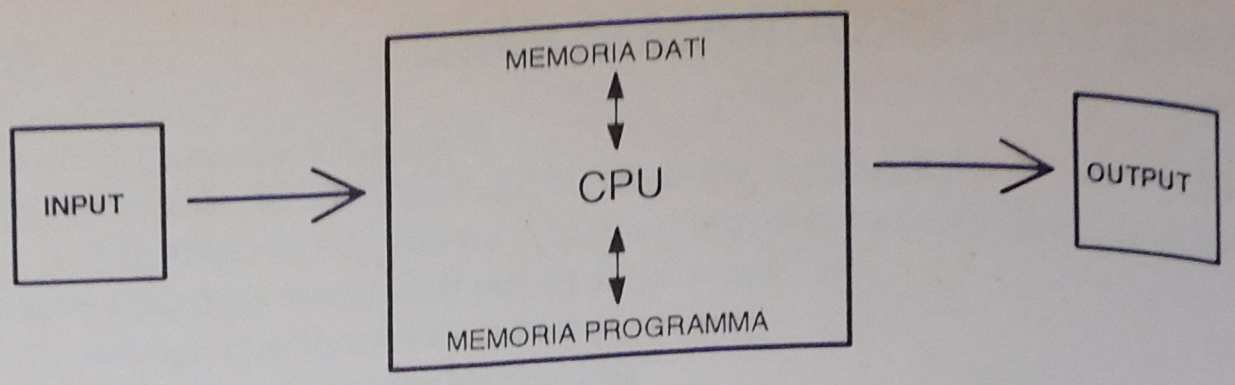


Fig. 4.3 - Architettura di un computer.

L'insieme delle successive istruzioni con cui si realizza, attraverso il controllore, l'elaborazione richiesta sui dati in ingresso è chiamato **programma** (software) ed è memorizzato in un'apposita **memoria programma**; i dati relativi allo stato degli ingressi e delle uscite sono invece memorizzati nella memoria di lavoro o **memoria dati**.

La parte del PLC che coordina ed organizza tutte le attività sopraddette è denominata unità centrale (**CPU**), tra essa ed il sistema da controllare troviamo le unità d'ingresso e di uscita, che hanno il compito di adattare i segnali elettrici esistenti fra circuiti esterni e la circuiteria interna del PLC.

Collegata al controllore possiamo trovare l'unità di programmazione, che consente di inserire il programma in un'apposita memoria interna.

Oltre alle unità precedentemente citate si possono utilizzare altre apparecchiature che aumentano le possibilità del controllore: tali apparecchiature, denominate periferiche, sono i simulatori, le memorie di massa, le stampanti, le interfacce per PLC o computer.

I simulatori sono apparecchiature che simulano ciò che accade nell'impianto; il loro uso consente, entro certi limiti, di mettere a punto efficacemente il programma.

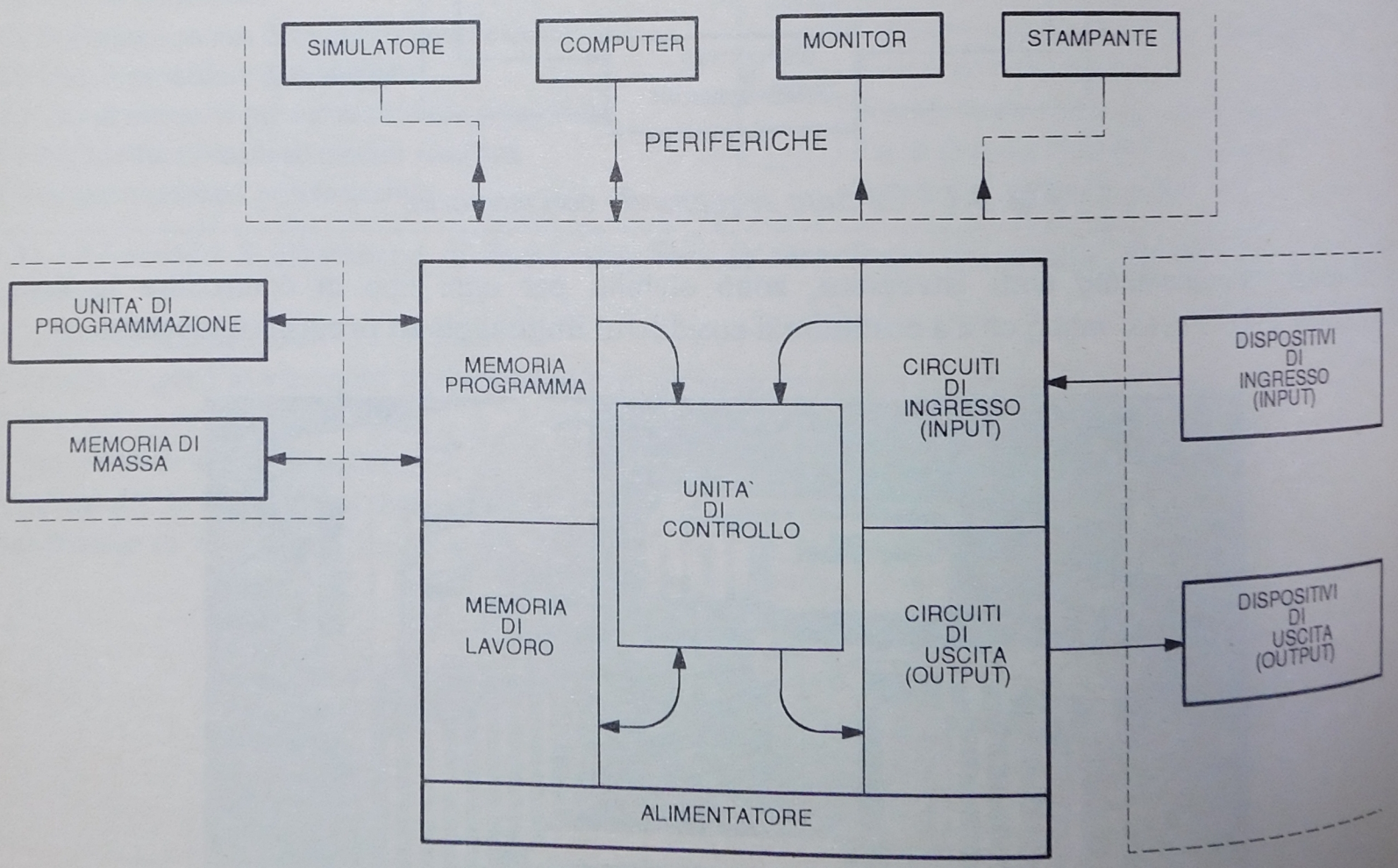


***Fig. 4.4** - Struttura di un controllore logico programmabile e relative periferiche.*

Le memorie di massa permettono di memorizzare i programmi anche quando non sono inseriti nel controllore, ciò evita di dover riscrivere il programma e consentono un'eventuale sua facile e rapida installazione su di un altro PLC.

Le stampanti consentono, mediante opportune interfacce, di stampare il listato delle istruzioni e una serie di informazioni sul programma.

Particolare importanza rivestono le interfacce per collegare il controllore con altri PLC o computer, in particolare nel primo caso è possibile collegare in rete diversi PLC in modo da riuscire a soddisfare le esigenze di automazione di grandi impianti.

Nel caso che il controllore venga collegato ad un computer è possibile programmarlo attraverso di esso invece di utilizzare i costosi videoterminali dedicati, si possono inoltre stampare i programmi, memorizzarli su memorie di massa ed eseguire tutta una serie di controlli sia durante la fase di programmazione che di normale funzionamento.

Una grandezza che caratterizza le potenzialità di un controllore è il numero complessivo degli ingressi e delle uscite (numero I/O).

In generale si possono identificare tre classi di apparecchiature:

- piccole unità con un massimo di 128 I/O,
- medie unità con un massimo di 1024 I/O,
- grandi unità con un numero uguale o maggiore di 1024 I/O.

Volendo gestire un numero più elevato di I/O si possono collegare in rete più controllori.

I controllori si possono suddividere anche a seconda dell'aspetto realizzativo. Si sono venute a creare caratteristiche comuni ai diversi costruttori rispetto a macchine legate alla stessa fascia prezzo/prestazioni.

Per le piccole unità si possono trovare PLC in un unico blocco (vedere nei successivi capitoli i modelli National PL20, Toshiba EX20, Omron C20, C20K, C40H, Siemens S5-95U), contenente l'unità centrale e le unità di ingresso e di uscita; possono essere ampliati con unità di espansione con un numero fisso di I/O.

Per le medie e le grandi unità (ma si trovano sempre più spesso anche per piccole unità) si adottano schede modulari (vedere nei successivi capitoli il modello Siemens S5-100U), le quali consentono di configurare il controllore assemblando le varie schede, ognuna con la sua funzione (unità centrale, unità I/O, alimentatore, ecc.), al fine di ottenere un PLC che meglio si adatti alle esigenze di una determinata automazione.

4.2 - UNITÀ CENTRALE

L'unità centrale di elaborazione dati, detta CPU (Central Processing Unit), può essere realizzata con uno o più microprocessori (μP) oppure con un processore cablato realizzato con più circuiti integrati.

In presenza di più CPU si parla di elaborazione in multiprocessing.

È il centro di attività di tutto il sistema, in pratica coordina tutte le attività del PLC.

Va a cercare nelle memorie le funzioni che gli vengono richieste, le analizza per poterle riconoscere, le esegue ad una ad una, in modo sequenziale, per gestire il funzionamento completo di ogni processo.

Per mezzo di periferiche il microprocessore recepisce tutte le informazioni che provengono dal mondo esterno (tramite interruttori, trasduttori, ecc.), quindi, svolgendo il programma, invia per mezzo di altre periferiche i risultati delle sue operazioni all'esterno (attraverso contattori, relè, trasduttori, attuatori, video, stampanti, calcolatori).

In pratica la CPU sostituisce i cablaggi e alcune funzioni come quelle svolte dai temporizzatori e dai contatori, con la differenza che in una logica cablata, che opera in parallelo cioè contemporaneamente, nel PLC la CPU esegue le proprie funzioni in modo sequenziale; ne consegue la grande importanza della velocità con la quale vengono svolte le operazioni.

L'unità centrale può essere suddivisa in diverse parti: unità logica ALU, unità di controllo UTC, memoria istruzioni ROM, registri, contatore di programma PC.

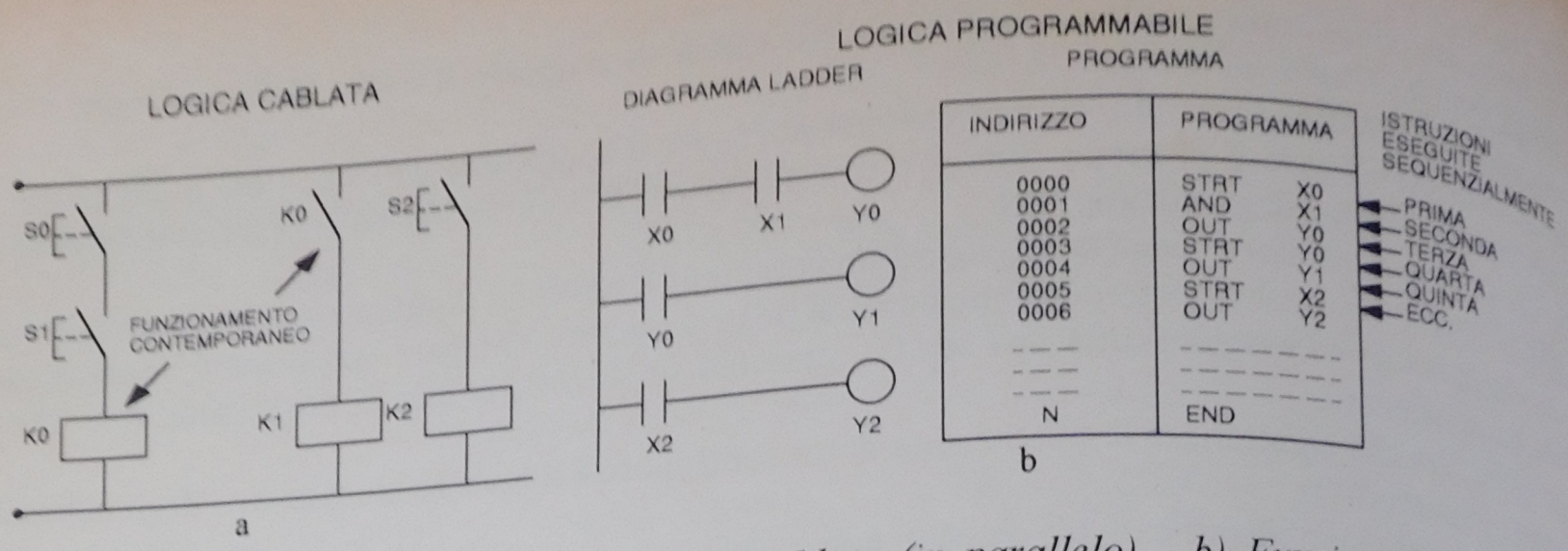


Fig. 4.5 - a) Funzionamento di logica cablata (in parallelo) - b) Funzionamento di logica programmabile dotata di microprocessore (sequenziale).

I compiti che queste unità devono svolgere sono di interrogare lo stato logico degli ingressi e porre il contenuto nella memoria di ingresso (dati), controllare la successione con cui le istruzioni del programma vengono lette, interpretare le istruzioni, modificare il contatore di programma (calcolando nuovi indirizzi per esempio in caso di salto), generare segnali che producono l'esecuzione delle istruzioni della ALU nella memoria di uscita (dati), verificare la corretta trasmissione di un'istruzione, verificare che non venga trasmesso un dato finchè non sia finita la trasmissione di quello precedente, eseguire le operazioni aritmetiche fondamentali.

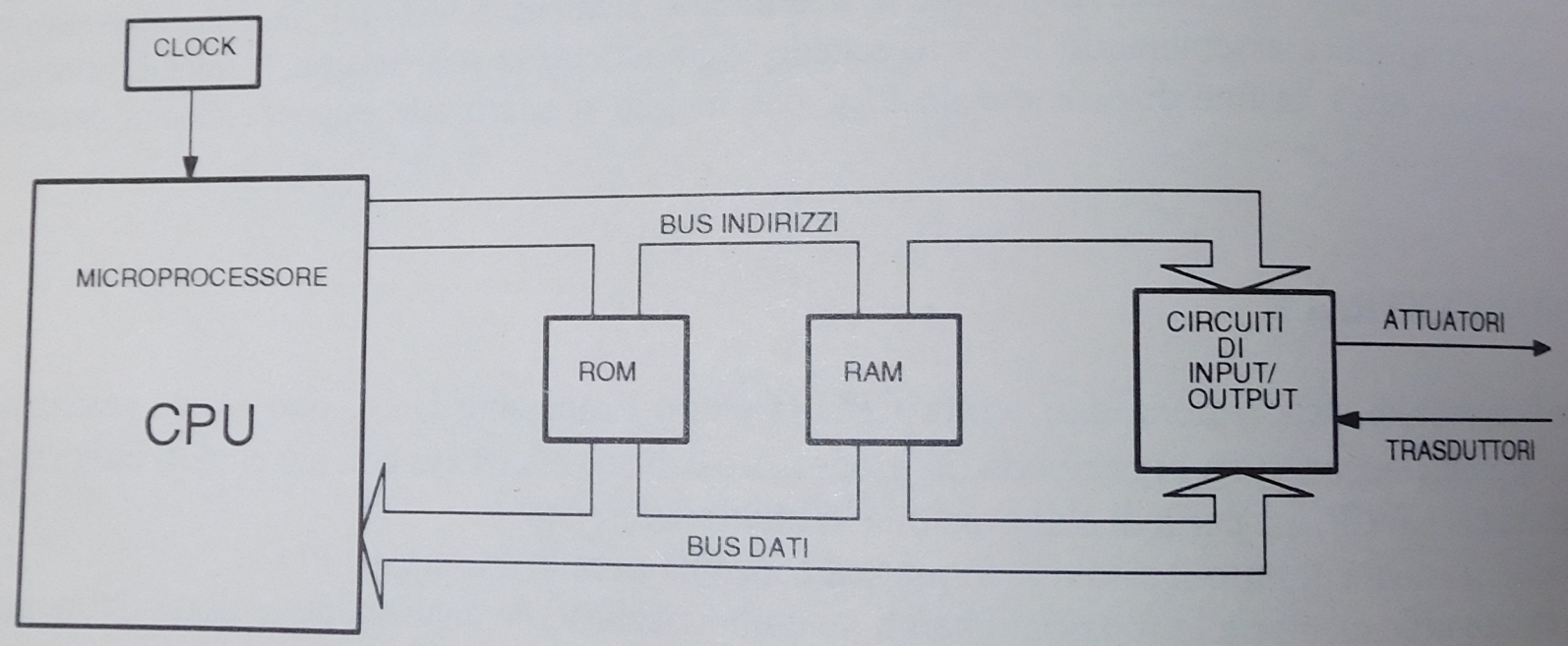


Fig. 4.6 - Architettura di un microcomputer o PLC.

4.3 - CARATTERISTICHE DEI MICROPROCESSORI

Il microprocessore è un particolare circuito integrato in grado di eseguire un programma e di controllare i dispositivi necessari per tale esecuzione. Le principali applicazioni del microprocessore sono la sostituzione di logiche cablate elettroniche con logiche programmabili in grado di risolvere diversi problemi con programmi distinti oppure garantire il funzionamento come unità centrale (CPU) in un computer o PLC.

I controllori programmabili e i computer hanno caratteristiche strettamente legate al microprocessore su cui si basano, poichè sia la loro potenza sia le altre prestazioni sono condizionate dalle caratteristiche della loro CPU, costituita appunto da un microprocessore.

Le prestazioni caratteristiche di un microprocessore sono le seguenti:

- lunghezza della parola processata: le lunghezze più comuni della parola dei microprocessori attuali sono 4, 8, 16, 32, 64 bit. La precisione di calcolo del microprocessore e la sua capacità di indirizzamento aumenta con l'aumentare della lunghezza della parola elaborata;

- capacità di indirizzamento della memoria: questa caratteristica è normalmente legata alla lunghezza della parola elaborata. La capacità massima utilizzabile da un microprocessore è stabilita dalle sue capacità di indirizzamento;
- velocità di esecuzione delle istruzioni: si definisce ciclo di istruzione il tempo impiegato dal microprocessore per eseguire completamente un'istruzione. Tale tempo è diverso in funzione del tipo di istruzione eseguita. Una misura più omogenea è il ciclo macchina, cioè il tempo necessario al microprocessore per eseguire un'operazione elementare, che costituisce parte di una qualsiasi istruzione completa;
- registri speciali: è importante nei microprocessori il numero dei registri speciali. Alcuni microprocessori dispongono di un unico registro (chiamato accumulatore) nell'unità aritmetico-logica, ma esistono dispositivi che incorporano due accumulatori, fatto che amplia la loro potenza e velocità di elaborazione. Per gli altri registri è in genere possibile utilizzare una parte della memoria RAM come registri propri del microprocessore oppure è in uso inserire vari registri di lavoro all'interno del microprocessore;
- capacità di interrupt: l'esecuzione di un programma può essere interrotta in alcuni casi (es. in caso di emergenza). Una caratteristica fondamentale del microprocessore è la capacità di recepire e gestire un determinato numero di interruzioni. Mediante tali interruzioni si possono stabilire le comunicazioni necessarie con altri dispositivi o apparecchiature, senza che ciò influisca sulla corretta esecuzione del programma in corso.

Tutte le funzioni del microprocessore sono comandate da opportuni impulsi di sincronismo denominati nel loro complesso **clock** (orologio).

Questi circuiti possono essere incorporati nel chip stesso, ad eccezione del quarzo, che per ragioni di ingombro è posto all'esterno del microprocessore.

La frequenza di oscillazione del quarzo è compresa tra 1 e diverse decine di MHz (es. 100-150 MHz).

In genere, a parità di altri fattori (tipo di microprocessore, memorie, BUS, ecc.), una maggiore velocità di clock contribuisce ad una maggiore velocità operativa.

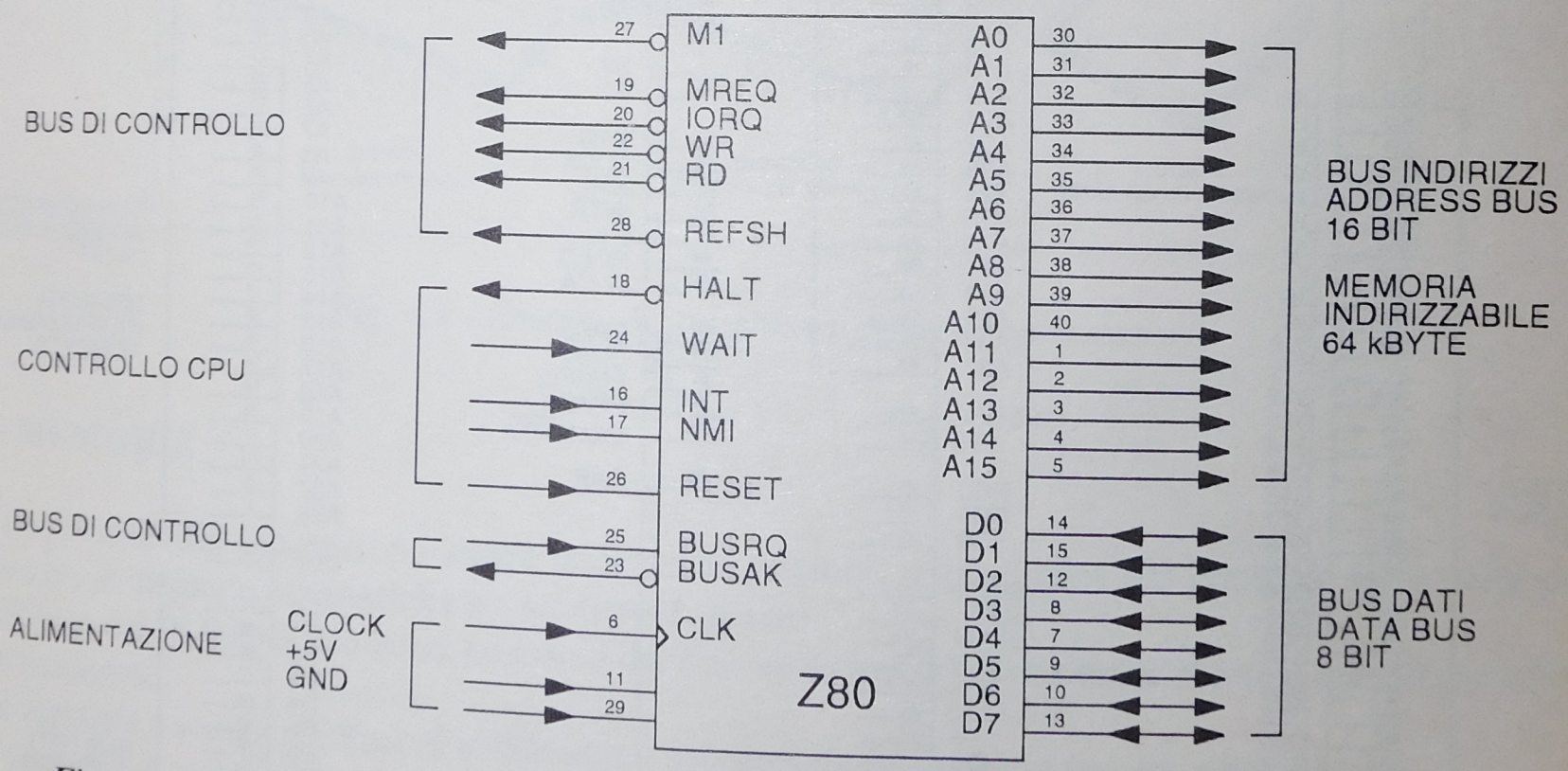


Fig. 4.7 - Microprocessore Z80 della Zilog/SGS, CPU del controllore programmabile FPC 404 della Festo: distribuzione delle funzioni sui terminali.

4.4 - DESCRIZIONE DEI BUS DI COMUNICAZIONE

I bus sono delle linee di comunicazione (vedi ad esempio le piste di rame nei circuiti stampati), che permettono il dialogo tra le varie parti di un microcomputer o PLC. Ne esistono di diversi tipi. Su ogni bus transitano in parallelo i bit che compongono una determinata informazione specifica.

In particolare abbiamo:

BUS DATI: può essere costituito da 4, 8, 16, 32, 64 conduttori sui quali può viaggiare un uguale numero di bit.

Il numero di bit del bus dati può dare un'indicazione della bontà del PLC, in quanto maggiore è il numero dei bit maggiore è la precisione della macchina e maggiore è la sua velocità nello scambiare i dati tra i vari stadi della macchina.

Sarebbe come far viaggiare delle automobili su una strada statale (bus a 8 bit) oppure su di una autostrada a 2 o 3 corsie (bus a 16 o 32 bit): ovviamente nel secondo caso le automobili si potranno muovere più agevolmente e velocemente.

BUS INDIRIZZI: permette di individuare il numero dell'istruzione del programma che si vuole eseguire, che verrà poi inviata attraverso il bus dati all'unità centrale; è in grado inoltre di individuare una locazione di memoria nella quale la CPU vuole effettuare un'operazione di lettura o di scrittura.

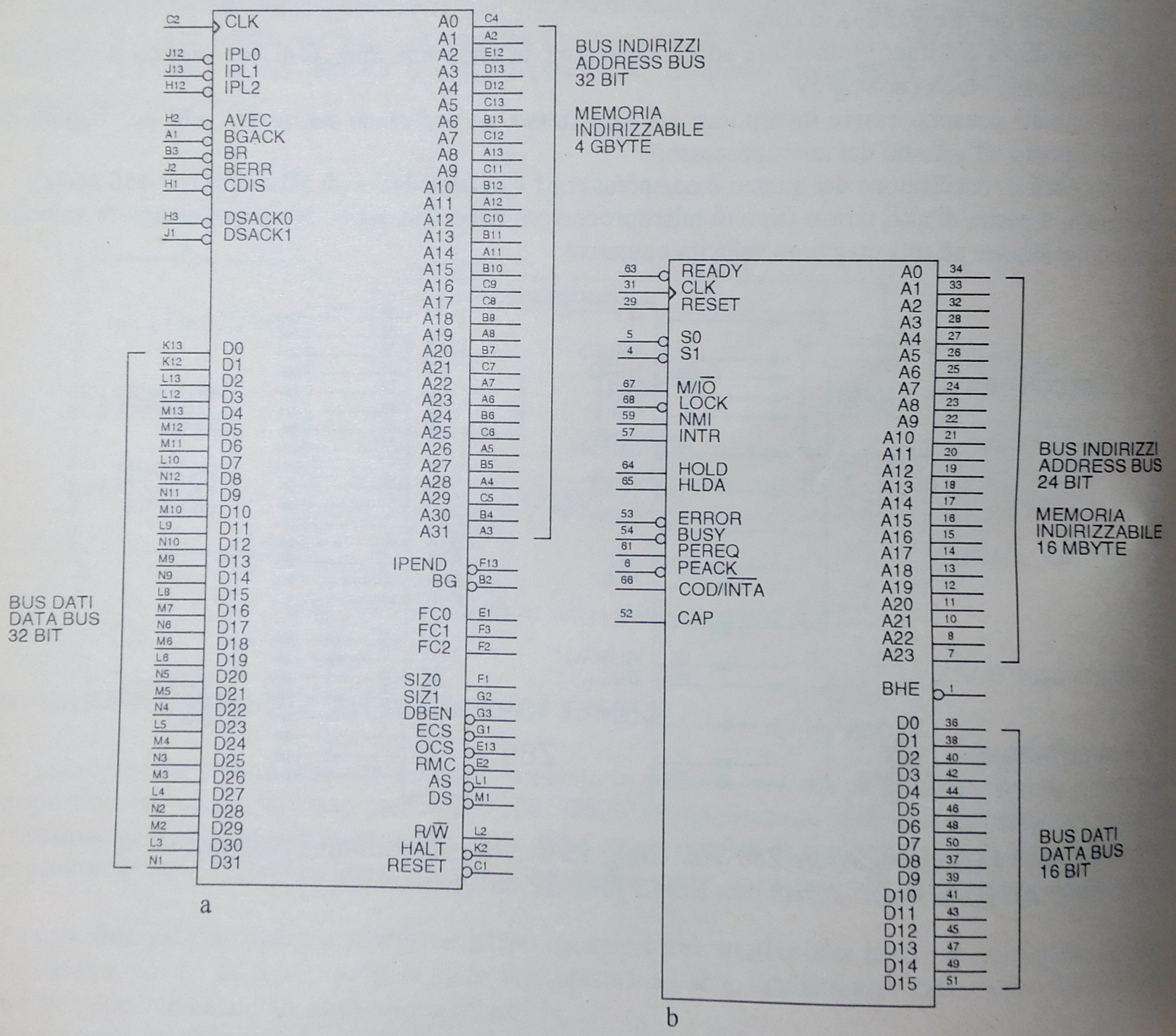


Fig. 4.8 - Microprocessori: a) Motorola 68020 - b) INTEL 80286.

Il bus indirizzi identifica la capacità di indirizzamento di un microprocessore, per esempio se è a 16 bit esso potrà controllare 2^{16}, cioè 65536 locazioni diverse di memoria, se si tratta di byte saranno 65536 byte equivalenti a 64 kbyte.

Esistono comunque microprocessori con capacità ben più elevate (es. $2^{20} = 1048576$), anche in questo caso se si tratta di byte avremo 1048576 byte equivalenti ad 1 Mbyte.

In pratica quindi il bus indirizzi permette di definisce la massima quantità di memoria che il controllore o il computer può gestire, ciò è in relazione alla quantità di memoria che l'utente ha a disposizione per i propri programmi: maggiore quantità di memoria equivale a poter scrivere programmi più complessi o comunque più lunghi.

BUS DI CONTROLLO: anche questo è un insieme di conduttori sui quali transitano le informazioni che controllano il susseguirsi delle operazioni nella macchina.

In particolare può essere usato per determinare se in una locazione di memoria, dopo averla individuata per mezzo del bus indirizzi, si vuole, mediante il bus dati, scrivere o leggere un dato.

BUS I/O: permette di collegare all'unità centrale le unità di espansione, le unità di ingresso e di uscita, dando così la possibilità di espandere a seconda delle esigenze il controllore.

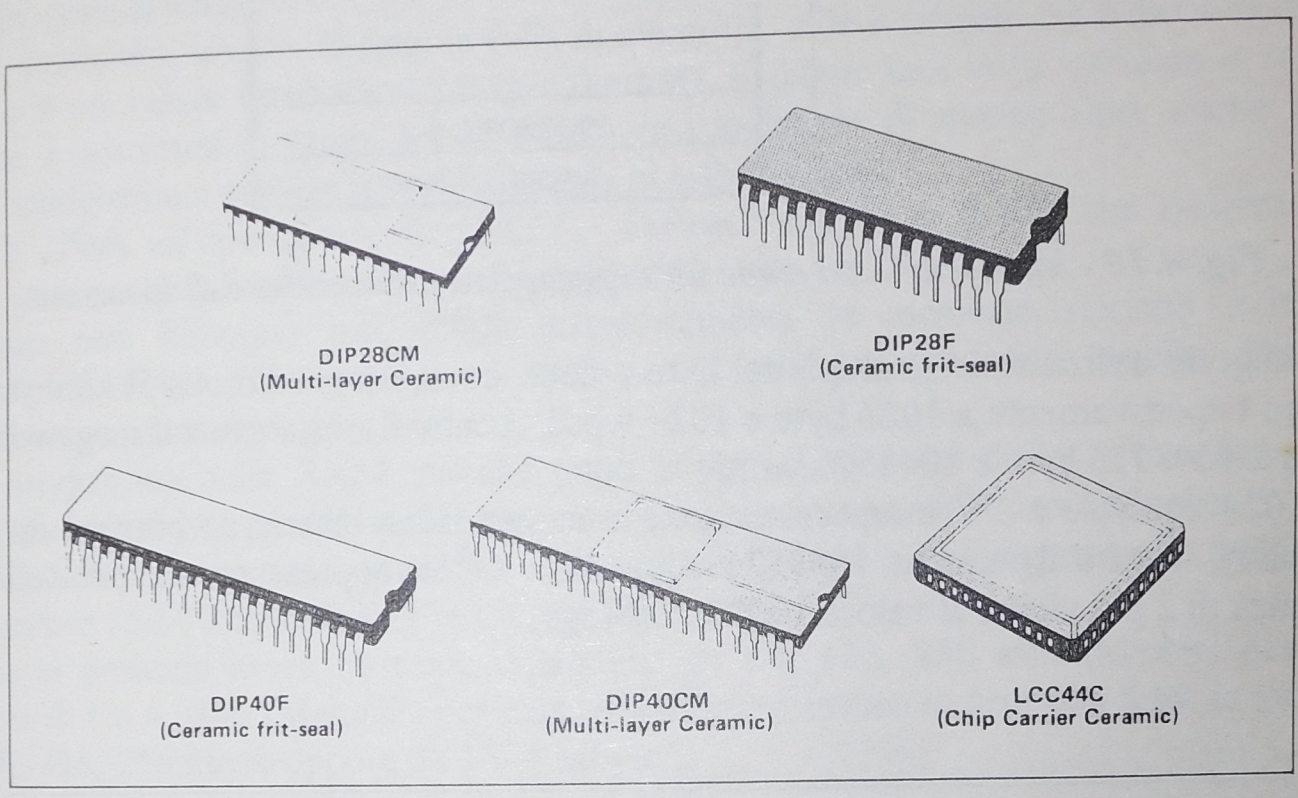


Fig. 4.9 - Esempi di contenitori per microprocessori.

4.5 - MEMORIE

I tipi di memoria che possono essere utilizzati si possono raggruppare dal punto di vista della tecnica costruttiva in memorie **magnetiche** e a **semiconduttore**.

Nel caso dei PLC si fa uso quasi esclusivo del tipo semiconduttore e normalmente a tecnologia CMOS a basso consumo.

Le memorie a semiconduttore si suddividono solitamente in memorie volatili e non volatili.

Il concetto di volatilità è legato alla capacità o meno di una memoria di mantenere le informazioni al cessare dell'alimentazione elettrica. Le memorie volatili perdono il loro contenuto informativo al cessare dell'alimentazione; le memorie non volatili, al contrario, lo mantengono.

Un PLC deve avere una memoria utente non volatile per il programma applicativo, in modo che lo spegnimento voluto o accidentale del PLC non pregiudichi la presenza del programma.

Infatti un PLC esegue un lavoro in funzione del programma che contiene e tale programma non può per cause accidentali andare perso, in quanto le conseguenze potrebbero essere molto gravi sia in termini economici (spreco di materie prime a causa del blocco dell'impianto oppure danni allo stesso) sia in termini di sicurezza degli addetti all'impianto, che potrebbero trovarsi in situazioni pericolose per la loro incolumità.

Vi sono inoltre motivi di carattere pratico, in quanto se un programma è scritto e funziona bene in riferimento all'applicazione per cui è stato concepito, risulta scomodo doverlo sempre ricaricare all'accensione del sistema; si potrebbe caricare il programma su una cassetta magnetica e riversarlo nella memoria del PLC, ma ciò avrebbe non poche controindicazioni dovute ad eventuali condizioni ambientali difficili (polvere, umidità, vibrazioni, ecc.) che potrebbero danneggiare il sistema di registrazione.

Le informazioni in un controllore vengono memorizzate in segnali binari elementari (bit) in gruppi di otto bit (byte) o più in generale in parole (word) composte ad esempio da 16 o 32 bit (vedere le caratteristiche tecniche dei PLC).

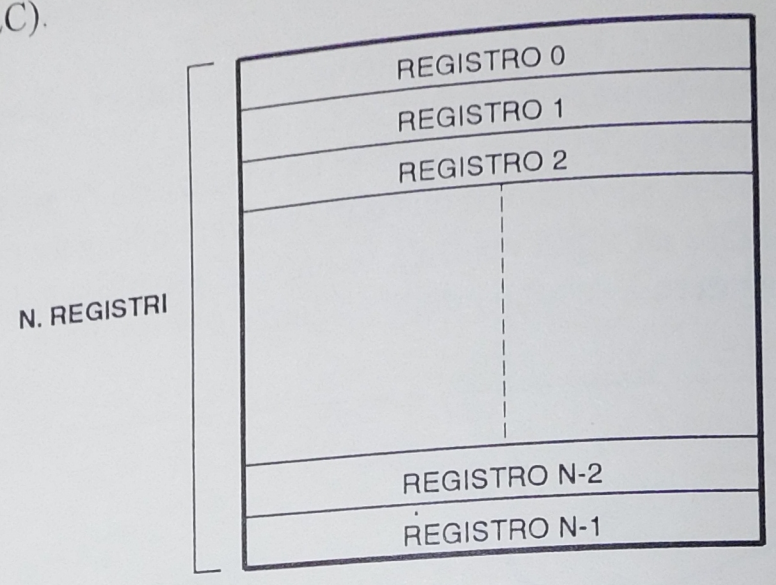


Fig. 4.10 - Memoria vista come un raggruppamento ordinato di locazioni.

In genere vengono utilizzati dei multipli del byte e della word, ottenendo così il kilobyte e il kiloword che equivalgono rispettivamente a 1024 byte e 1024 word, mentre il megabyte e il megaword equivalgono rispettivamente a 1048576 byte e 1048576 word.

Il numero 1024 equivale a 2^{10} e rappresenta, nella numerazione binaria, la potenza di 2 più vicina al valore 1000 (kilo), mentre il numero 1048576 equivale a 2^{20} e rappresenta, sempre nella numerazione binaria, la potenza di 2 più vicina al valore 1000000 (Mega).

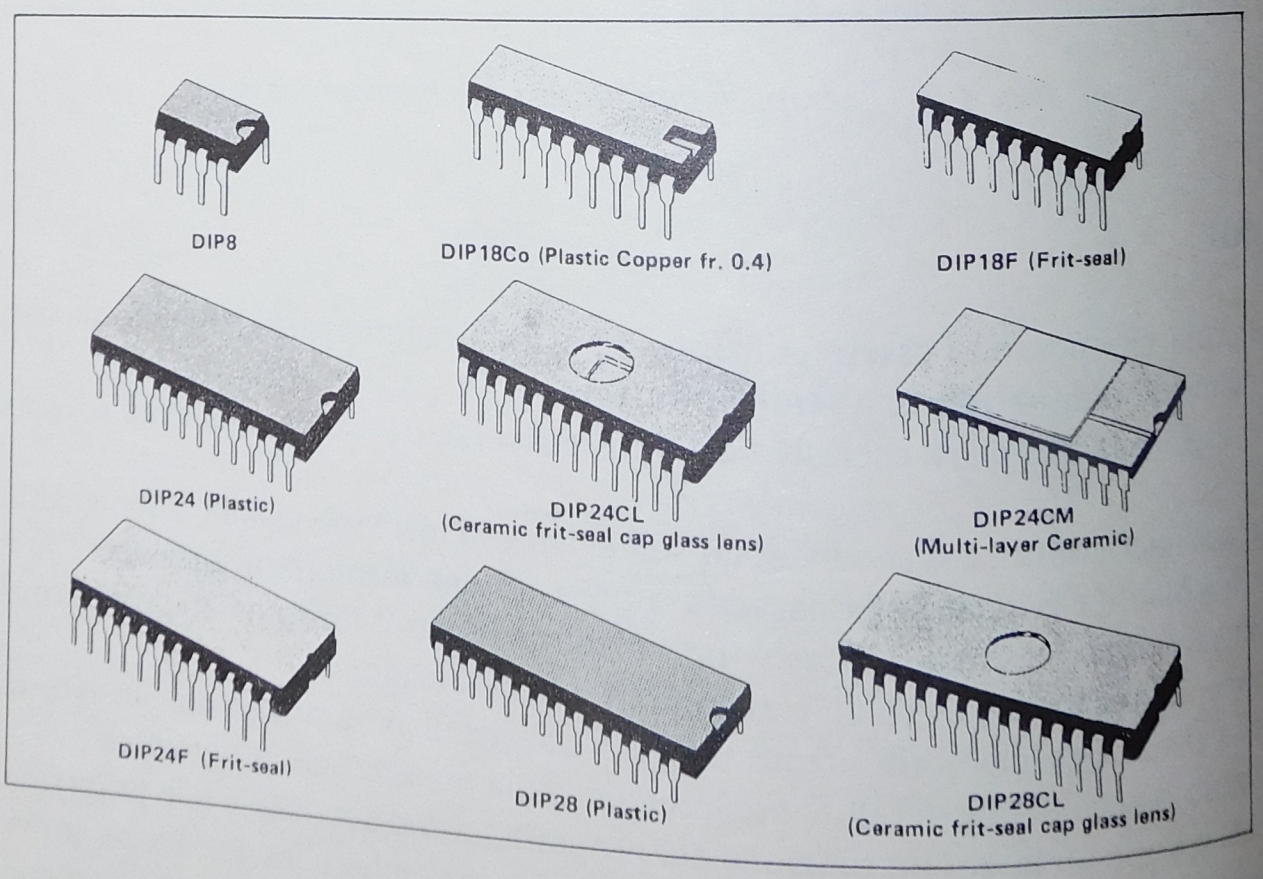


Fig. 4.11 - Esempi di contenitori per memorie a semiconduttori.

4.6 - MEMORIE RAM

Le memorie RAM (Random Access Memory: memorie ad accesso casuale) sono memorie a lettura/scrittura. Si tratta di memorie volatili ad accesso casuale e possono essere sia lette che programmate durante il normale funzionamento.

Esiste un particolare tipo di memorie RAM a semiconduttore, realizzato in tecnologia CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, semiconduttore a tecnologia complementare a ossido metallico) che ha un basso consumo, così da poter alimentare tali memorie anche usando una piccola batteria al litio; tale batteria viene definita batteria tampone.

Le memorie RAM CMOS si suddividono in due grosse famiglie: RAM statiche e RAM dinamiche.

Le RAM statiche si possono immaginare come costituite da singoli circuiti elettronici tipo flip-flop miniaturizzati, uno per ogni singolo bit, cioè per ogni singola cella di memoria.

Volendo fare una similitudine di tipo elettromeccanico, si può assimilare un flip-flop ad un circuito con un relè monostabile con circuito di autoritenuta (marcia-arresto).

In entrambi i casi al cessare dell'alimentazione vengono comunque perse le informazioni legate agli stati logici dei circuiti presi in esame.

Nelle RAM dinamiche, invece, la singola cella di memoria, cioè il singolo bit è da considerare come un condensatore con un valore inferiore al pF (picoFarard), il quale, una volta caricato e assunto lo stato logico 1, tende a scaricarsi in tempi brevi. Perciò una memoria di questo tipo, anche in presenza di alimentazione, tenderebbe a perdere il suo contenuto di informazione.

È necessaria allora un'operazione di refresh o rinfresco ogni 1 o 2 ms, che riscriva o rivitalizzi il contenuto energetico e quindi informativo della memoria.

Le differenze non finiscono qui, infatti strutturalmente le memorie statiche richiedono per la realizzazione di un flip-flop integrato uno spazio, nel chip, maggiore di quello necessario per la realizzazione di un condensatore integrato.

I costi di produzione delle RAM statiche sono superiori ai costi delle RAM dinamiche, le quali presentano un numero di bit per chip molto superiore e un consumo energetico inferiore.

Le memorie statiche hanno però un tempo di risposta molto più basso rispetto alle memorie dinamiche, circa 8-15 ns contro i 50-70 ns delle migliori RAM dinamiche.

Attualmente si possono avere memorie dinamiche da 64, 128, 256 kbit (kilobit) per chip, sino ad arrivare a valori di 1 o 4 Mbit (Megabit) per chip, organizzate spesso in gruppi a 8 bit in modo da formare memorie da 64, 128, 256 kbyte oppure da 1 o 4 Mbyte.

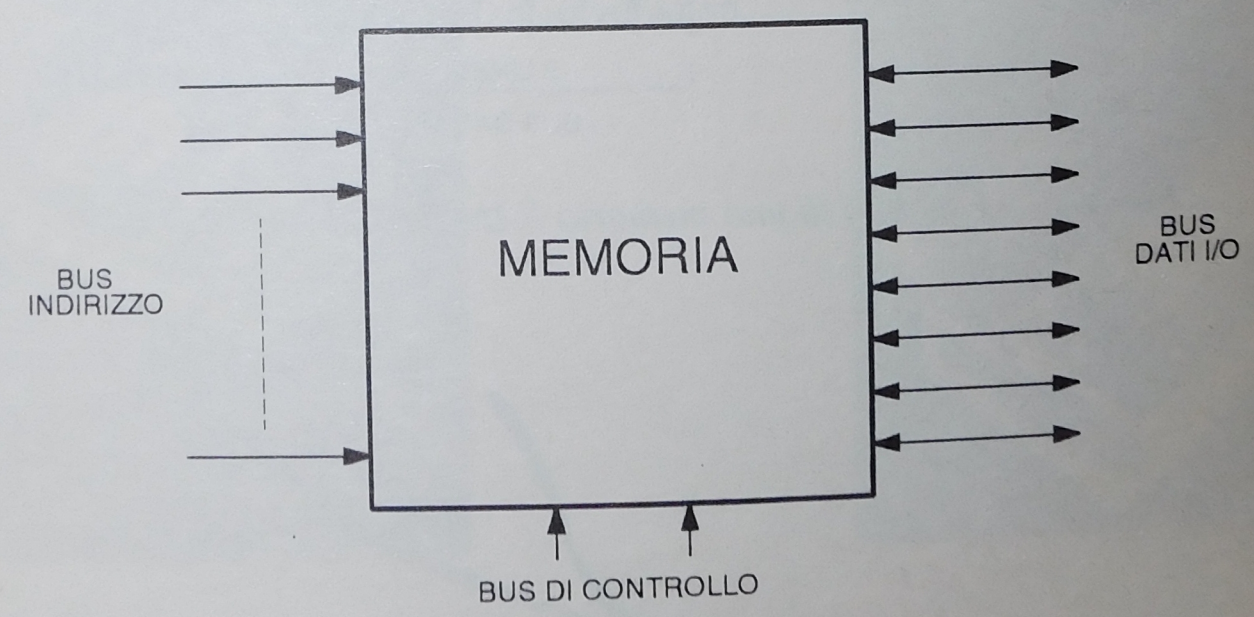


Fig. 4.12 - Circuito di una memoria RAM.

Nello schema semplificato in figura che segue troviamo una memoria RAM organizzata in 1024 gruppi di 8 bit ciascuno (1024 byte), essa è collegata al resto dei circuiti con dei bus di comunicazione.

- capacità di indirizzamento della memoria: questa caratteristica è normalmente legata alla lunghezza della parola elaborata. La capacità massima utilizzabile da un microprocessore è stabilita dalle sue capacità di indirizzamento;
- velocità di esecuzione delle istruzioni: si definisce ciclo di istruzione il tempo impiegato dal microprocessore per eseguire completamente un'istruzione. Tale tempo è diverso in funzione del tipo di istruzione eseguita. Una misura più omogenea è il ciclo macchina, cioè il tempo necessario al microprocessore per eseguire un'operazione elementare, che costituisce parte di una qualsiasi istruzione completa;
- registri speciali: è importante nei microprocessori il numero dei registri speciali. Alcuni microprocessori dispongono di un unico registro (chiamato accumulatore) nell'unità aritmetico-logica, ma esistono dispositivi che incorporano due accumulatori, fatto che amplia la loro potenza e velocità di elaborazione. Per gli altri registri è in genere possibile utilizzare una parte della memoria RAM come registri propri del microprocessore oppure è in uso inserire vari registri di lavoro all'interno del microprocessore;
- capacità di interrupt: l'esecuzione di un programma può essere interrotta in alcuni casi (es. in caso di emergenza). Una caratteristica fondamentale del microprocessore è la capacità di recepire e gestire un determinato numero di interruzioni. Mediante tali interruzioni si possono stabilire le comunicazioni necessarie con altri dispositivi o apparecchiature, senza che ciò influisca sulla corretta esecuzione del programma in corso.

Tutte le funzioni del microprocessore sono comandate da opportuni impulsi di sincronismo denominati nel loro complesso **clock** (orologio).

Questi circuiti possono essere incorporati nel chip stesso, ad eccezione del quarzo, che per ragioni di ingombro è posto all'esterno del microprocessore.

La frequenza di oscillazione del quarzo è compresa tra 1 e diverse decine di MHz (es. 100-150 MHz).

In genere, a parità di altri fattori (tipo di microprocessore, memorie, BUS, ecc.), una maggiore velocità di clock contribuisce ad una maggiore velocità operativa.

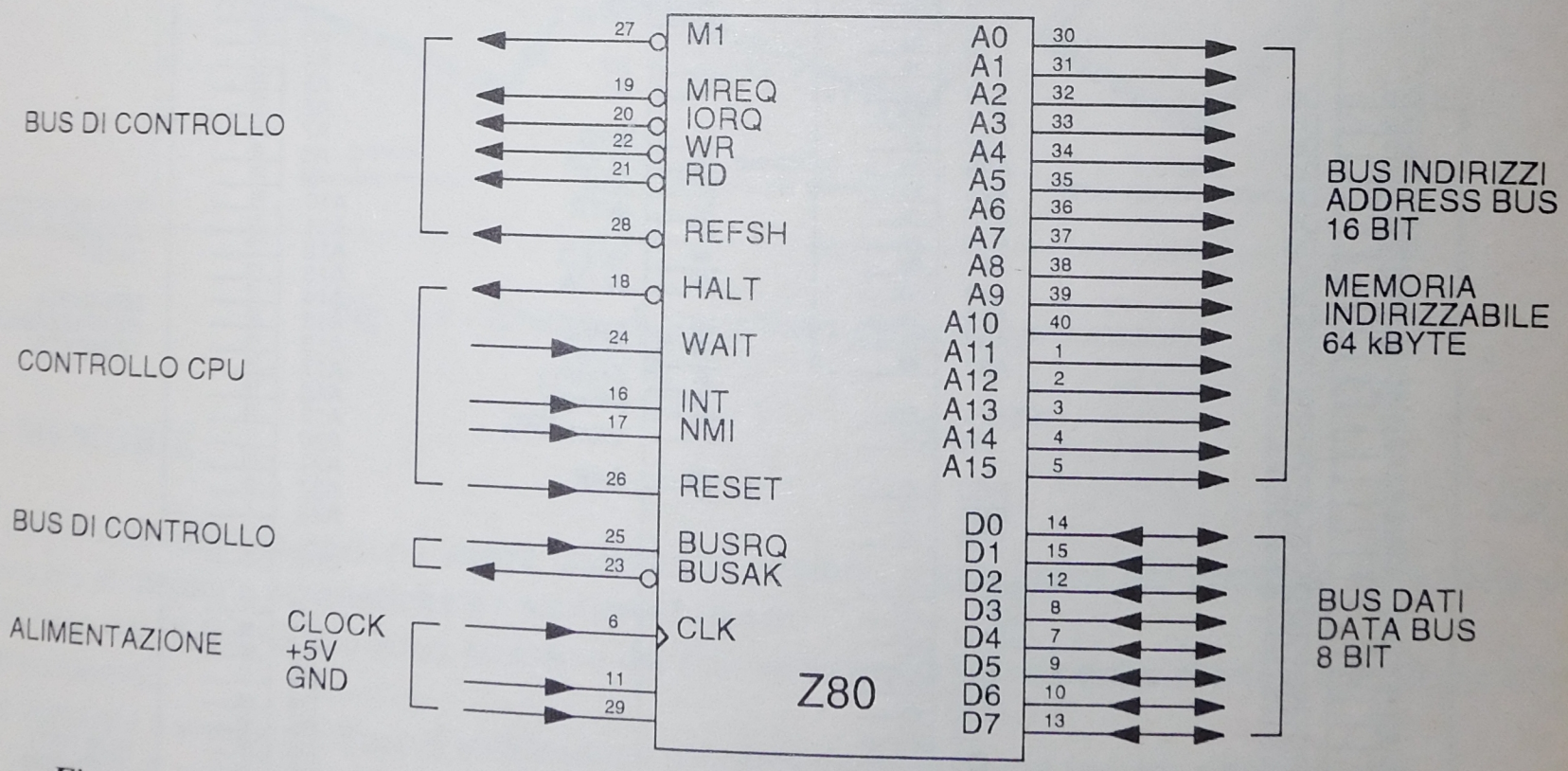


Fig. 4.7 - Microprocessore Z80 della Zilog/SGS, CPU del controllore programmabile FPC 404 della Festo: distribuzione delle funzioni sui terminali.

4.4 - DESCRIZIONE DEI BUS DI COMUNICAZIONE

I bus sono delle linee di comunicazione (vedi ad esempio le piste di rame nei circuiti stampati), che permettono il dialogo tra le varie parti di un microcomputer o PLC. Ne esistono di diversi tipi. Su ogni bus transitano in parallelo i bit che compongono una determinata informazione specifica.

In particolare abbiamo:

BUS DATI: può essere costituito da 4, 8, 16, 32, 64 conduttori sui quali può viaggiare un uguale numero di bit.

Il numero di bit del bus dati può dare un'indicazione della bontà del PLC, in quanto maggiore è il numero dei bit maggiore è la precisione della macchina e maggiore è la sua velocità nello scambiare i dati tra i vari stadi della macchina.

Sarebbe come far viaggiare delle automobili su una strada statale (bus a 8 bit) oppure su di una autostrada a 2 o 3 corsie (bus a 16 o 32 bit): ovviamente nel secondo caso le automobili si potranno muovere più agevolmente e velocemente.

BUS INDIRIZZI: permette di individuare il numero dell'istruzione del programma che si vuole eseguire, che verrà poi inviata attraverso il bus dati all'unità centrale; è in grado inoltre di individuare una locazione di memoria nella quale la CPU vuole effettuare un'operazione di lettura o di scrittura.

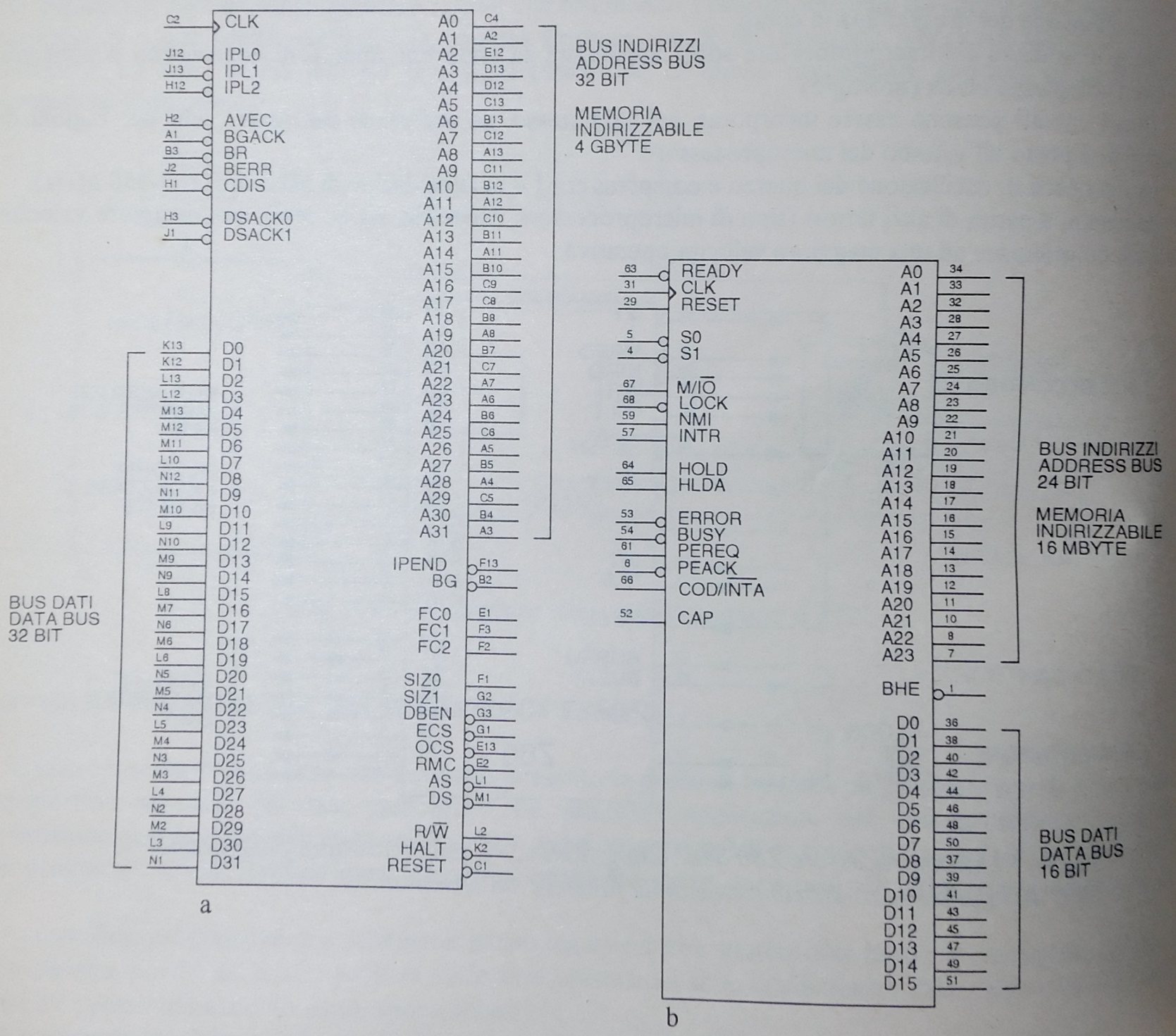


Fig. 4.8 - Microprocessori: a) Motorola 68020 - b) INTEL 80286.

Il bus indirizzi identifica la capacità di indirizzamento di un microprocessore, per esempio se è a 16 bit esso potrà controllare 2^{16}, cioè 65536 locazioni diverse di memoria, se si tratta di byte saranno 65536 byte equivalenti a 64 kbyte.

Esistono comunque microprocessori con capacità ben più elevate (es. $2^{20} = 1048576$), anche in questo caso se si tratta di byte avremo 1048576 byte equivalenti ad 1 Mbyte.

In pratica quindi il bus indirizzi permette di definisce la massima quantità di memoria che il controllore o il computer può gestire, ciò è in relazione alla quantità di memoria che l'utente ha a disposizione per i propri programmi: maggiore quantità di memoria equivale a poter scrivere programmi più complessi o comunque più lunghi.

BUS DI CONTROLLO: anche questo è un insieme di conduttori sui quali transitano le informazioni che controllano il susseguirsi delle operazioni nella macchina.

In particolare può essere usato per determinare se in una locazione di memoria, dopo averla individuata per mezzo del bus indirizzi, si vuole, mediante il bus dati, scrivere o leggere un dato.

BUS I/O: permette di collegare all'unità centrale le unità di espansione, le unità di ingresso e di uscita, dando così la possibilità di espandere a seconda delle esigenze il controllore.

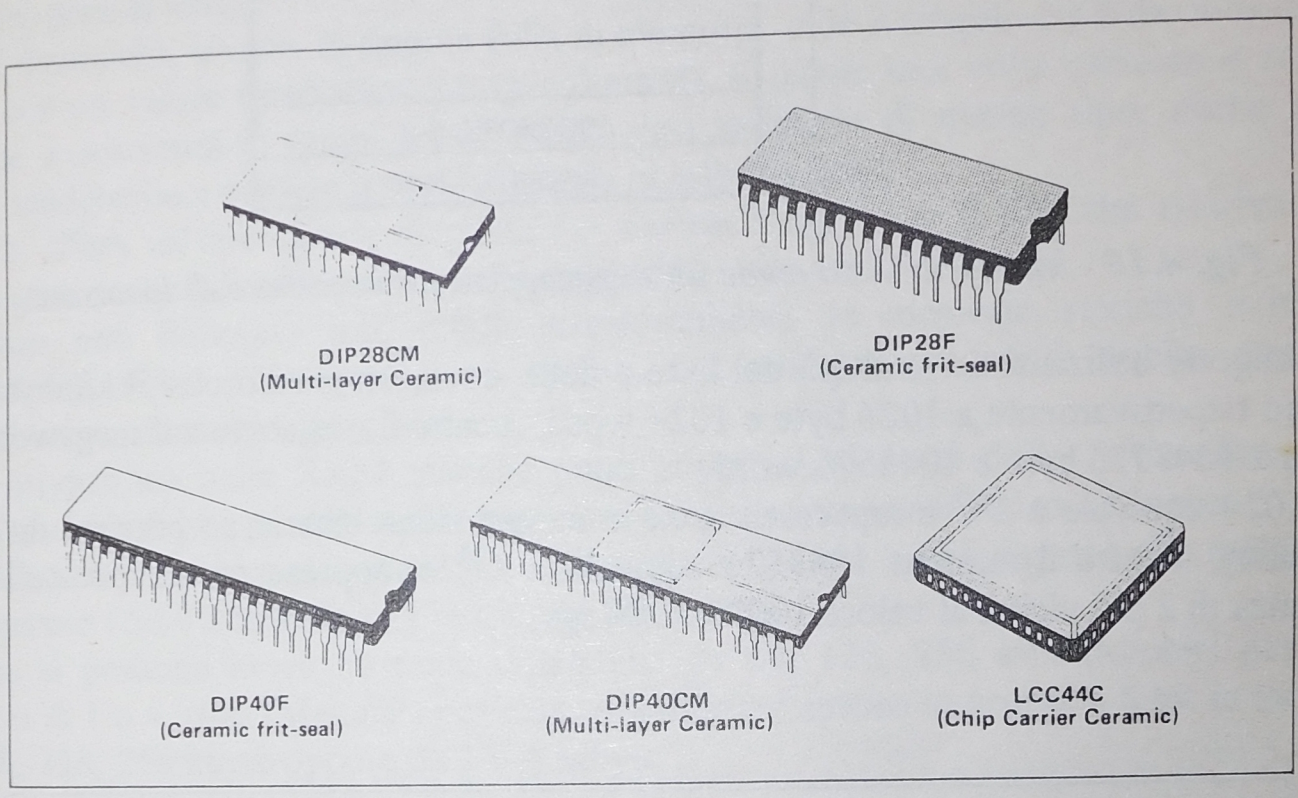


Fig. 4.9 - Esempi di contenitori per microprocessori.

4.5 - MEMORIE

I tipi di memoria che possono essere utilizzati si possono raggruppare dal punto di vista della tecnica costruttiva in memorie **magnetiche** e a **semiconduttore**.

Nel caso dei PLC si fa uso quasi esclusivo del tipo semiconduttore e normalmente a tecnologia CMOS a basso consumo.

Le memorie a semiconduttore si suddividono solitamente in memorie volatili e non volatili.

Il concetto di volatilità è legato alla capacità o meno di una memoria di mantenere le informazioni al cessare dell'alimentazione elettrica. Le memorie volatili perdono il loro contenuto informativo al cessare dell'alimentazione; le memorie non volatili, al contrario, lo mantengono.

Un PLC deve avere una memoria utente non volatile per il programma applicativo, in modo che lo spegnimento voluto o accidentale del PLC non pregiudichi la presenza del programma.

Infatti un PLC esegue un lavoro in funzione del programma che contiene e tale programma non può per cause accidentali andare perso, in quanto le conseguenze potrebbero essere molto gravi sia in termini economici (spreco di materie prime a causa del blocco dell'impianto oppure danni allo stesso) sia in termini di sicurezza degli addetti all'impianto, che potrebbero trovarsi in situazioni pericolose per la loro incolumità.

Vi sono inoltre motivi di carattere pratico, in quanto se un programma è scritto e funziona bene in riferimento all'applicazione per cui è stato concepito, risulta scomodo doverlo sempre ricaricare all'accensione del sistema; si potrebbe caricare il programma su una cassetta magnetica e riversarlo nella memoria del PLC, ma ciò avrebbe non poche controindicazioni dovute ad eventuali condizioni ambientali difficili (polvere, umidità, vibrazioni, ecc.) che potrebbero danneggiare il sistema di registrazione.

Le informazioni in un controllore vengono memorizzate in segnali binari elementari (bit) in gruppi di otto bit (byte) o più in generale in parole (word) composte ad esempio da 16 o 32 bit (vedere le caratteristiche tecniche dei PLC).

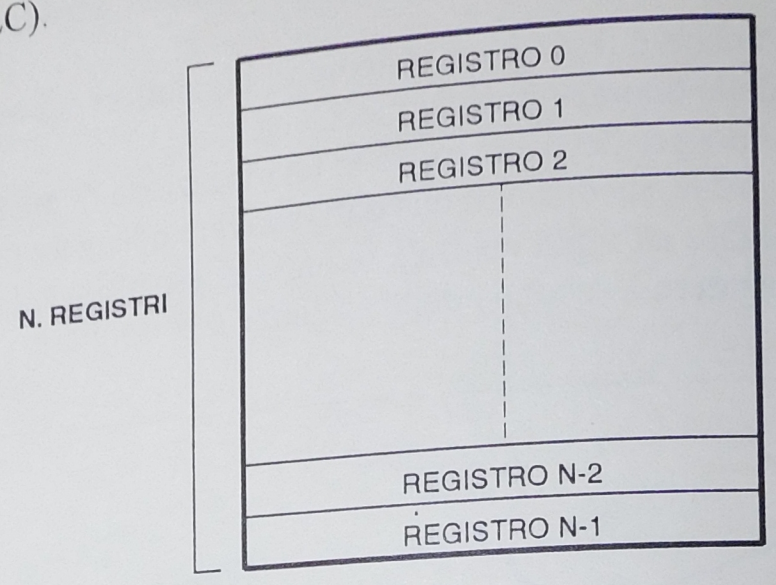


Fig. 4.10 - Memoria vista come un raggruppamento ordinato di locazioni.

In genere vengono utilizzati dei multipli del byte e della word, ottenendo così il kilobyte e il kiloword che equivalgono rispettivamente a 1024 byte e 1024 word, mentre il megabyte e il megaword equivalgono rispettivamente a 1048576 byte e 1048576 word.

Il numero 1024 equivale a 2^{10} e rappresenta, nella numerazione binaria, la potenza di 2 più vicina al valore 1000 (kilo), mentre il numero 1048576 equivale a 2^{20} e rappresenta, sempre nella numerazione binaria, la potenza di 2 più vicina al valore 1000000 (Mega).

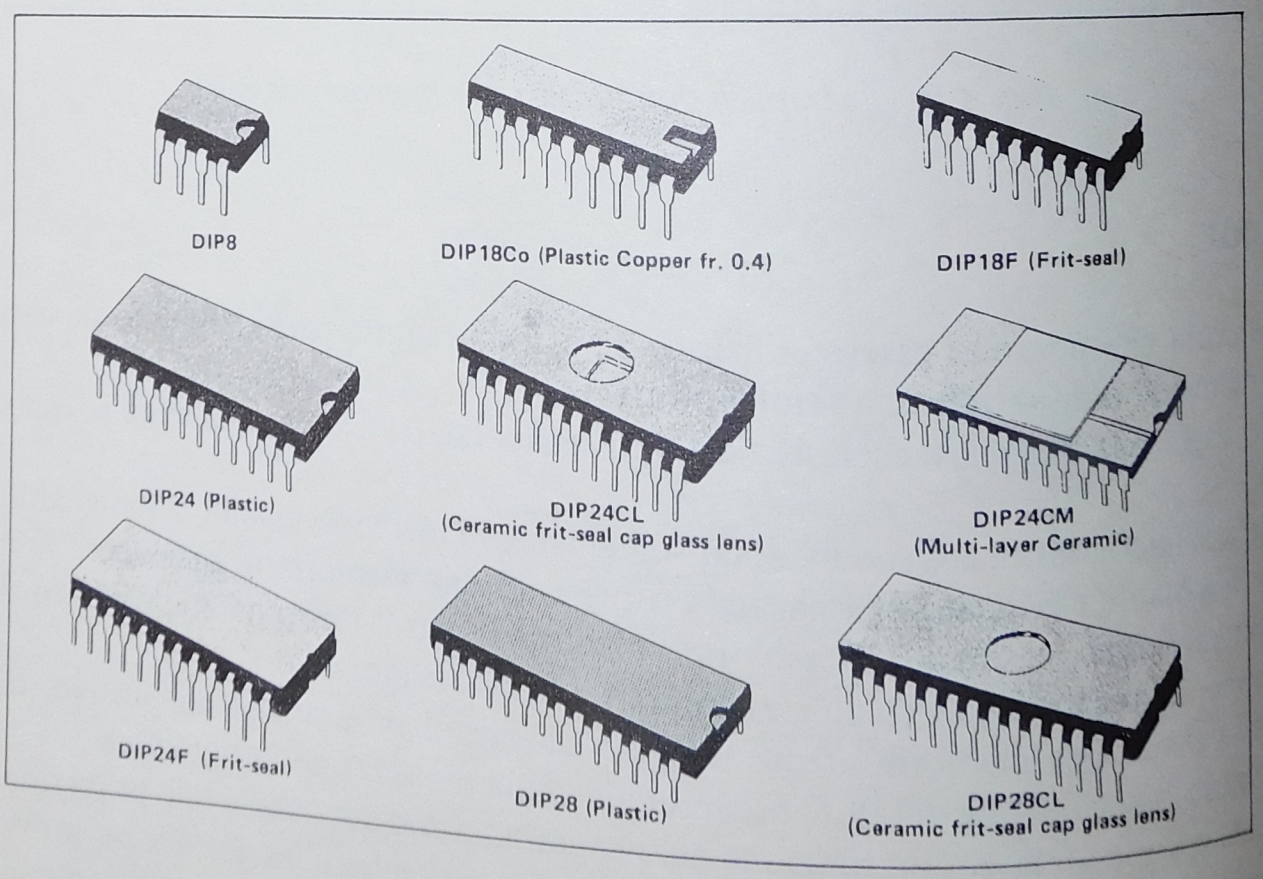


Fig. 4.11 - Esempi di contenitori per memorie a semiconduttori.

4.6 - MEMORIE RAM

Le memorie RAM (Random Access Memory: memorie ad accesso casuale) sono memorie a lettura/scrittura. Si tratta di memorie volatili ad accesso casuale e possono essere sia lette che programmate durante il normale funzionamento.

Esiste un particolare tipo di memorie RAM a semiconduttore, realizzato in tecnologia CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, semiconduttore a tecnologia complementare a ossido metallico) che ha un basso consumo, così da poter alimentare tali memorie anche usando una piccola batteria al litio; tale batteria viene definita batteria tampone.

Le memorie RAM CMOS si suddividono in due grosse famiglie: RAM statiche e RAM dinamiche.

Le RAM statiche si possono immaginare come costituite da singoli circuiti elettronici tipo flip-flop miniaturizzati, uno per ogni singolo bit, cioè per ogni singola cella di memoria.

Volendo fare una similitudine di tipo elettromeccanico, si può assimilare un flip-flop ad un circuito con un relè monostabile con circuito di autoritenuta (marcia-arresto).

In entrambi i casi al cessare dell'alimentazione vengono comunque perse le informazioni legate agli stati logici dei circuiti presi in esame.

Nelle RAM dinamiche, invece, la singola cella di memoria, cioè il singolo bit è da considerare come un condensatore con un valore inferiore al pF (picoFarard), il quale, una volta caricato e assunto lo stato logico 1, tende a scaricarsi in tempi brevi. Perciò una memoria di questo tipo, anche in presenza di alimentazione, tenderebbe a perdere il suo contenuto di informazione.

È necessaria allora un'operazione di refresh o rinfresco ogni 1 o 2 ms, che riscriva o rivitalizzi il contenuto energetico e quindi informativo della memoria.

Le differenze non finiscono qui, infatti strutturalmente le memorie statiche richiedono per la realizzazione di un flip-flop integrato uno spazio, nel chip, maggiore di quello necessario per la realizzazione di un condensatore integrato.

I costi di produzione delle RAM statiche sono superiori ai costi delle RAM dinamiche, le quali presentano un numero di bit per chip molto superiore e un consumo energetico inferiore.

Le memorie statiche hanno però un tempo di risposta molto più basso rispetto alle memorie dinamiche, circa 8-15 ns contro i 50-70 ns delle migliori RAM dinamiche.

Attualmente si possono avere memorie dinamiche da 64, 128, 256 kbit (kilobit) per chip, sino ad arrivare a valori di 1 o 4 Mbit (Megabit) per chip, organizzate spesso in gruppi a 8 bit in modo da formare memorie da 64, 128, 256 kbyte oppure da 1 o 4 Mbyte.

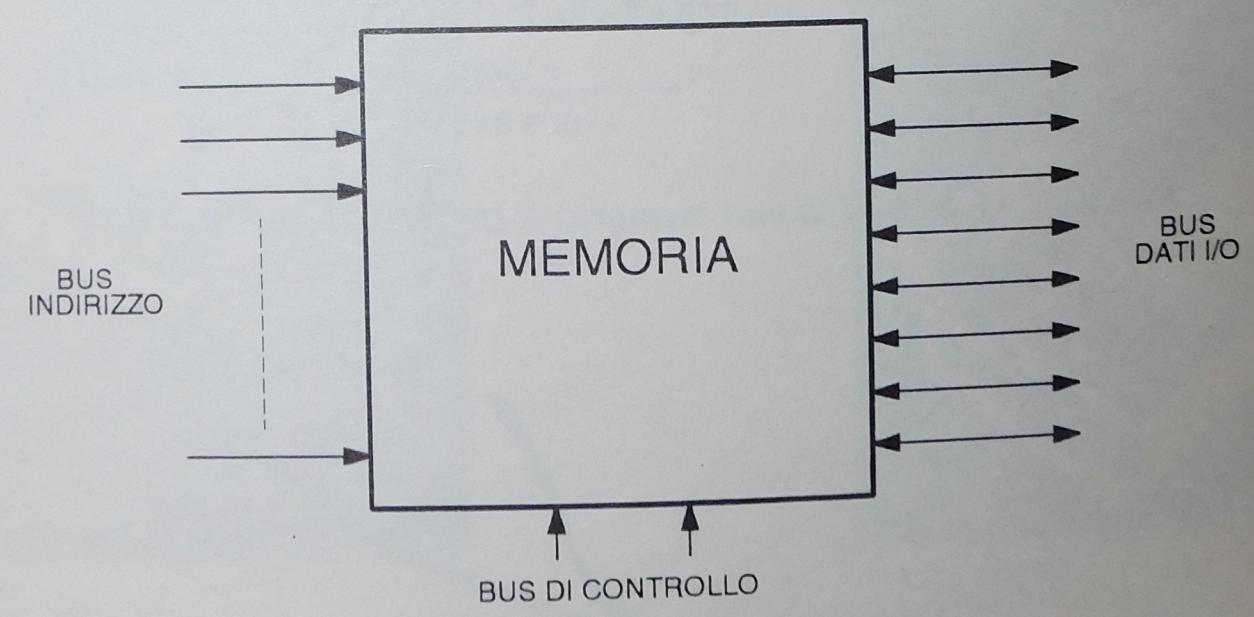


Fig. 4.12 - Circuito di una memoria RAM.

Nello schema semplificato in figura che segue troviamo una memoria RAM organizzata in 1024 gruppi di 8 bit ciascuno (1024 byte), essa è collegata al resto dei circuiti con dei bus di comunicazione.

Il **bus indirizzo** è costituito da 10 linee (fili), le quali consentono all'unità centrale di indirizzare (scegliere), con le loro possibili combinazioni logiche (2^{10}=1024), un byte ben definito tra i 1024 che ritroviamo in questo esempio; oltre al bus indirizzo troviamo il **bus dati**, costituito in questo caso da 8 linee, le quali sono in grado di trasportare i byte dall'unità centrale alla memoria (fase di scrittura) o viceversa dalla memoria all'unità centrale (fase di lettura).

Le fasi di scrittura (WR) e di lettura (RD) vengono definite dall'unità centrale e insieme ad altre linee, costituiscono il **bus di controllo** a cui la memoria è opportunamente collegata per poter definire se si è in fase di lettura o di scrittura.

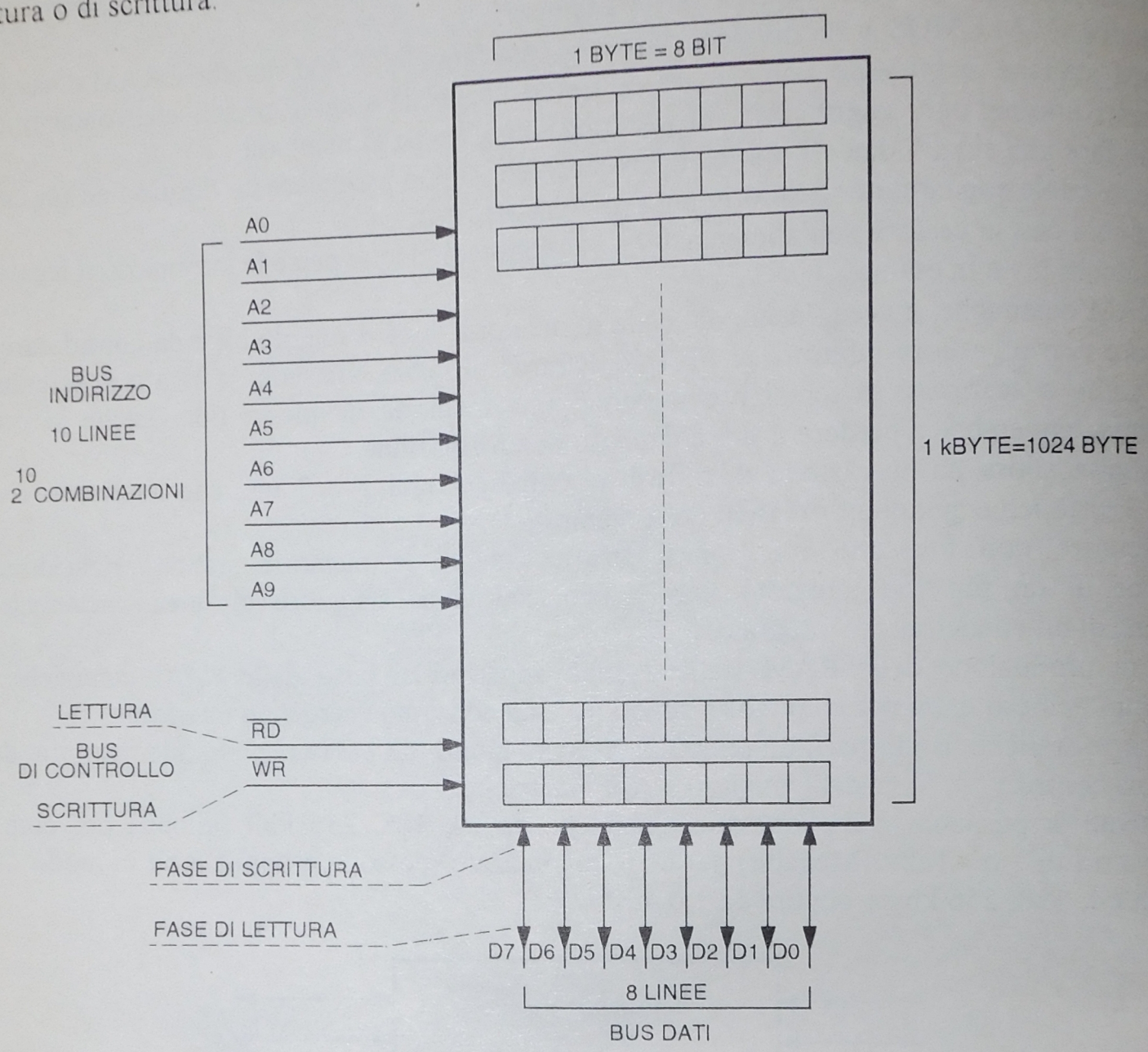


Fig. 4.13 - Esempio di una memoria RAM da 1 kbyte (1024 byte).

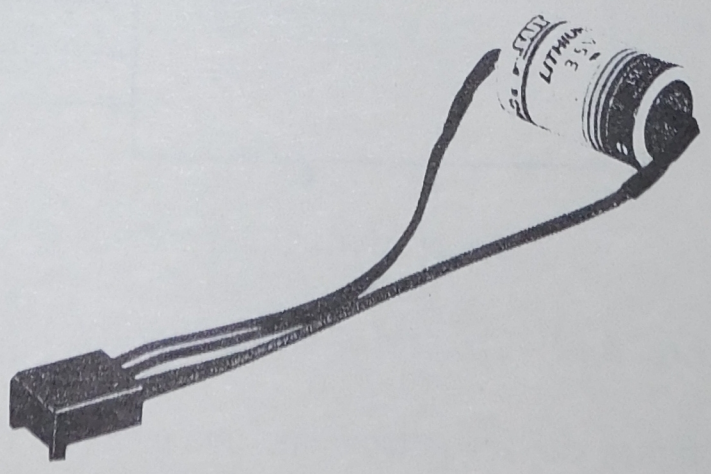


Fig. 4.14 - Esempio di batteria tampone al litio.

4.7 - MEMORIE ROM E PROM

Le memorie ROM (Read Only Memory) sono memorie di sola lettura del tipo a semiconduttore; esse vengono programmate dal costruttore del PLC, sono per definizione non volatili, con contenuto fisso e non modificabile nel tempo anche in caso di caduta dell'alimentazione.

Sono generalmente usate per contenere il software di sistema, cioè il programma (definito dal costruttore) che, posto nel PLC, è finalizzato a gestire tutte le operazioni di base che consentono l'uso e la programmazione del PLC da parte dell'utente; si usa spesso il termine FIRMWARE per indicare questo software preparato dalla stessa ditta costruttrice (FIRM) del sistema.

Le memorie PROM (Programmable ROM) sono memorie di sola lettura, programmabili in modo alquanto limitato, poichè possono essere programmate solo una volta. Quindi, stabilito il loro contenuto, questo resta fisso e inalterabile nel tempo al mancare dell'alimentazione.

La differenza tra le memorie ROM e le PROM sta nel fatto che le prime vengono programmate dal costruttore del PLC, le altre invece sono in genere programmate dall'utente.

La programmazione di queste memorie avviene mediante l'eliminazione, con un apposito dispositivo di programmazione interfacciabile con il PLC, di una connessione fusibile che una volta "bruciata" non può essere più ripristinata.

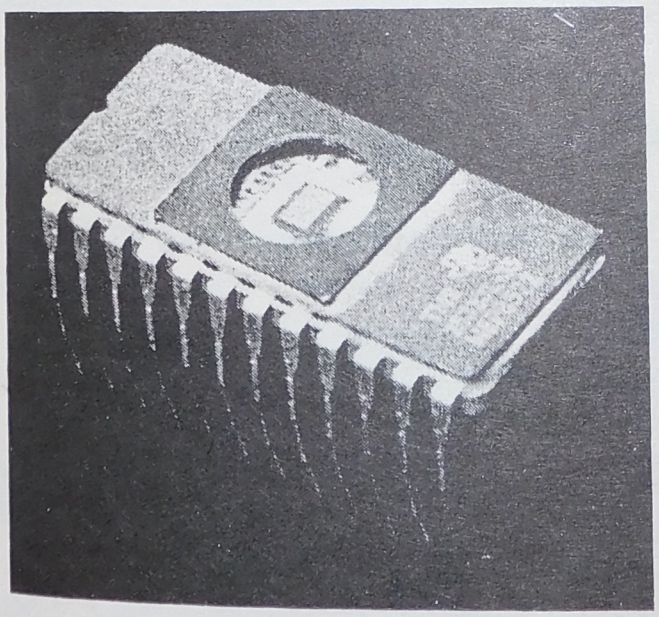
4.8 - MEMORIE EPROM

Le memorie EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) sono memorie di sola lettura (non volatili), il cui contenuto può essere cancellato per consentire una nuova programmazione, operazione questa che può essere fatta dallo stesso utilizzatore.

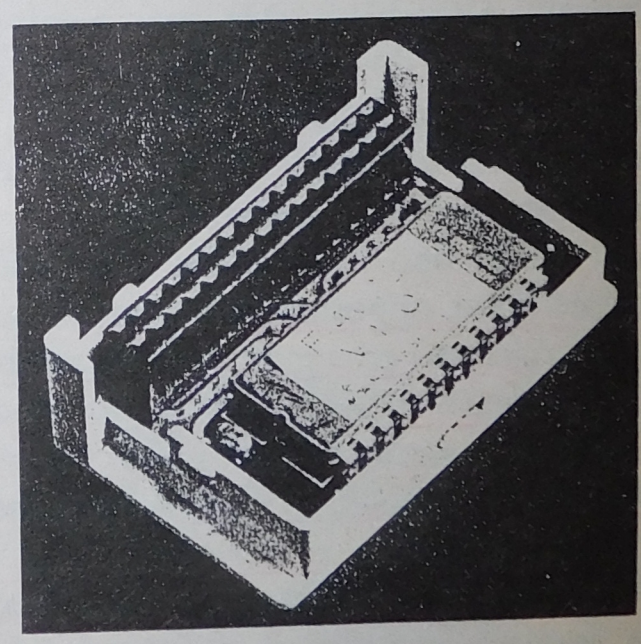
L'apparecchiatura usata per la programmazione è chiamata EPROM Programmer.

In alcuni casi è possibile che il sistema di programmazione del PLC, chiamato anche "programmatore", contenga anche l'EPROM Programmer.

Per poter effettuare la cancellazione si deve estrarre il componente elettronico dalla sua scheda e esporlo ad una opportuna sorgente di raggi ultravioletti.



a



b

***Fig. 4.15** - a) Esempio di memoria EPROM - b) Esempio di modulo EPROM con finestrella ricoperta con un adesivo.*

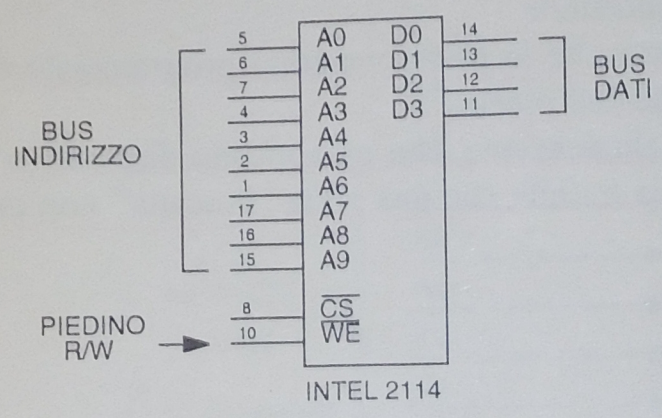
Il tempo di esposizione deve essere di circa 10-30 minuti; da notare che tutte le memorie di questo tipo presentano sul loro dorso una finestrella trasparente in quarzo, da cui si rende possibile l'irraggiamento verso il chip interno.

Per evitare che raggi ultravioletti presenti nell'illuminazione artificiale e naturale possano cancellare inavvertitamente parte della memoria è opportuno ricoprire la finestrella con un adesivo non trasparente.

La scelta del tipo di memoria può essere fatta considerando l'opportunità, in fase sperimentale, utilizzare una RAM CMOS che consente di modificare facilmente il programma, che, una volta ultimato, può venire memorizzato in modo definitivo in una EPROM.

Una memoria può essere teoricamente cancellata e riprogrammata diverse decine di volte, in pratica però ciò non avviene in quanto solitamente essa viene eliminata con tutto l'impianto, diventato nel frattempo obsoleto, oppure può essere danneggiata da ripetute manipolazioni meccaniche.

Le EPROM sono adatte a contenere programmi realizzati per serie medio-grandi di PLC che utilizzano lo stesso programma.



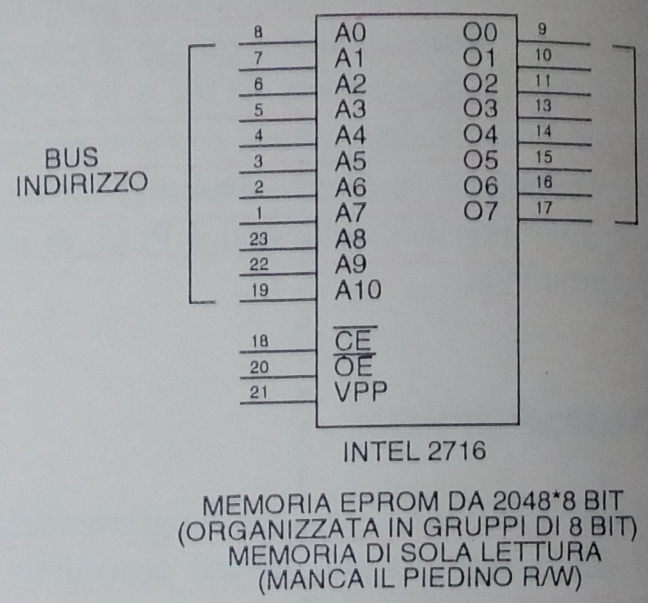


Fig. 4.16 - Esempi di memorie RAM e EPROM.

4.9 - MEMORIE EEPROM

Le memorie EEPROM o E^2PROM (Electrically Erasable PROM), note anche come EAROM (Electrically Alterable ROM), sono memorie simili alle EPROM, ma possono essere cancellate con tensioni opportune senza doverle rimuovere dal PLC, sono memorie a sola lettura, non volatili, elettricamente alterabili, quindi in sostanza modificabili.

La grossa differenza che passa fra le EEPROM e le EPROM consiste essenzialmente nel processo di cancellazione e di riprogrammazione.

Con questo tipo di memoria non è più necessario estrarre il componente elettronico dal PLC, ma è sufficiente dare opportuni comandi al sistema, il quale attiva un circuito elettrico che, agendo sulle memorie, riscrive i contenuti delle locazioni che si desidera modificare.

Può sembrare all'utente che questo tipo di memoria sia come una RAM, in realtà i processi di lettura, cancellazione e scrittura sono molto più lenti (lettura: 200-400 ns, scrittura 15-20 ms), questo però non è considerato un problema in quanto tali memorie sono usate solo per contenere il programma applicativo dell'utente e non altre informazioni come, ad esempio, i dati relativi allo stato logico degli ingressi o delle uscite che richiedono invece velocità operative più elevate.

La durata elettrica può essere valutata in circa 10 anni, queste memorie possono comunque essere cancellate e riscritte più volte, sino ad un limite massimo di circa 10^5 operazioni (cancellazione/scrittura) e possiedono inoltre una ritenzione dati di circa 100 anni.

4.10 - MEMORIE NOVRAM E FLASH

Il nome delle memorie NOVRAM, chiamate anche NVRAM, deriva dalla espressione NOn Volatile RAM, sembrerebbe quindi trattarsi di una RAM non volatile.

In realtà si è visto che le memorie RAM sono memorie sia di lettura che di scrittura, che, nel momento in cui manca l'alimentazione, perdono il loro contenuto di informazioni, sono quindi dette memorie volatili.

Si è inoltre visto che ci sono memorie come le EPROM e le EEPROM che non sono volatili, possono essere lette facilmente, ma necessitano di operazioni più o meno complesse e delicate per poterle cancellare e riscrivere.

Le NOVRAM non sono altro che memorie con due chip affacciati, paralleli fra di loro.

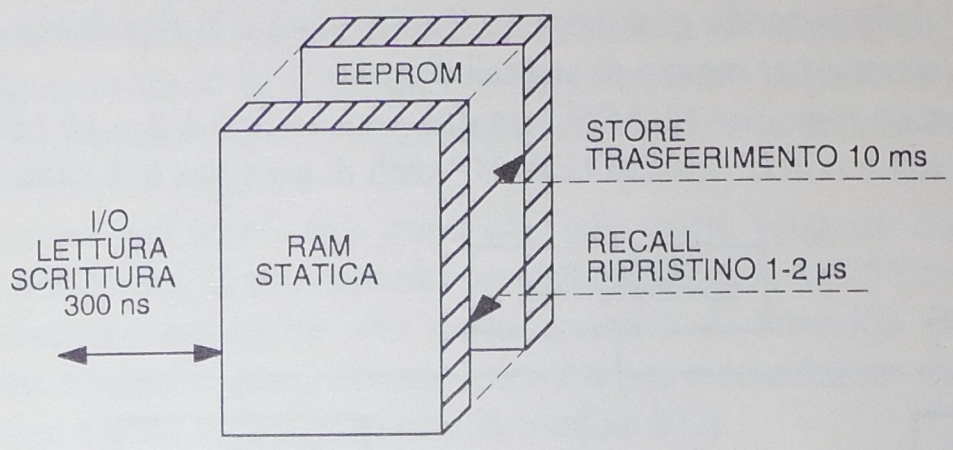


Fig. 4.17 - Struttura di una memoria NOVRAM.

Un chip è di memoria RAM vera e propria; l'altro è un chip di memoria EEPROM; la coppia viene alloggiata in un singolo circuito integrato.

L'utente vede e lavora solo con la sezione RAM della NOVRAM per le normali operazioni di lettura e scrittura.

Allo spegnimento del PLC, il contenuto della RAM viene memorizzato automaticamente nella sezione EEPROM, venendo quindi salvato per un tempo massimo di 100 anni e con la garanzia di poter effettuare circa 10^5 operazioni di lettura/scrittura.

Quando si riaccende il PLC, il contenuto di informazioni (dati, programmi) viene automaticamente scritto nella sezione RAM, che, pur essendo volatile, consente maggiori velocità di lettura/scrittura.

Tutte queste operazioni avvengono senza che l'operatore intervenga, in modo cosiddetto "trasparente". Questo tipo di memoria è poco usato, almeno per ora, in quanto ha ancora alti costi di produzione e basse capacità di memorizzazione.



a b

Fig. 4.18 - a) Foto ingrandita del chip di una memoria a semiconduttore NOVRAM 2210 - b) Contenitore.

Nel mondo della microelettronica si sente sempre più frequentemente parlare, tra le cosiddette memorie non volatili; delle memorie FLASH; infatti queste memorie sono destinate nei prossimi anni a sostituire le memorie non volatili come le ROM, EPROM (EPROM like) ed anche, in alcuni casi, le memorie di massa magnetiche (come i floppy disk e gli hard disk) utilizzate nei computer e in alcuni PLC (drive allo stato solido); vengono così eliminate tutte le parti meccaniche necessarie per l'uso delle memorie magnetiche.

Diverse sono le caratteristiche che contraddistinguono le memorie FLASH: grande affidabilità, ridotti consumi, leggerezza, possibilità di essere riprogrammate elettricamente in modo indipendente a livello di settori o blocchi anche con tensioni di alimentazione che possono scendere in alcuni casi sino a 3 V.

Dal punto di vista tecnologico, le memorie FLASH possono essere considerate come una sorta di compromesso tra i due approcci che hanno portato rispettivamente alle EPROM e alle EEPROM.

Delle prime conservano le piccole dimensioni della cella elementare, un procedimento costruttivo molto simile e costi paragonabili; delle seconde mantengono l'affidabilità e la flessibilità dovuta alla possibilità di cancellazione e riprogrammazione per mezzo di segnali elettrici.

Sono disponibili sul mercato memorie FLASH con una densità fino a 8 o 16 Mbit, organizzate in settori cancellabili indipendentemente e con la possibilità di 10^5 cicli di scrittura e di cancellazione.

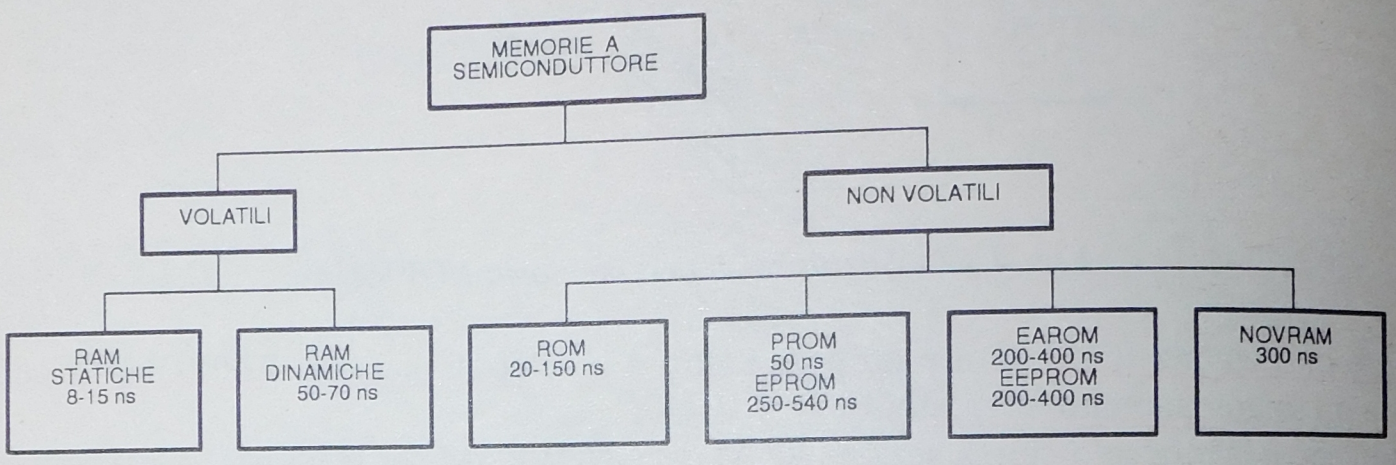


Fig. 4.19 - Classificazione delle principali memorie a semiconduttore e relativi tempi di risposta.

TIPO	PROGRAMMAZIONE	CANCELLAZIONE	VOLATILITA`	POSSIBILITA` DI MODIFICHE	TIPO DI OPERATIVITA`	
					LETTURA	SCRITTURA
RAM STATICA (SRAM)	MEDIANTE IMPULSI ELETTRICI	MEDIANTE IMPULSI ELETTRICI	VOLATILE (RICHIEDE UNA BATTERIA TAMPONE)	IMMEDIATA	SI	SI
RAM DINAMICA (DRAM)	MEDIANTE IMPULSI ELETTRICI	MEDIANTE IMPULSI ELETTRICI	VOLATILE (RICHIEDE, OLTRE AD UNA BATTERIA TAMPONE, UN RINFRESCAMENTO CONTINUO DELLE INFORMAZIONI)	IMMEDIATA	SI	SI
ROM	MEDIANTE PROCESSO FOTOGRAFICO DURANTE LA FABBRICAZIONE	IMPOSSIBILE	NON VOLATILE (MANTIENE L'INFORMAZIONE)	IMPOSSIBILE	SI	NO
PROM	MEDIANTE IMPULSI ELETTRICI	IMPOSSIBILE	NON VOLATILE (MANTIENE L'INFORMAZIONE)	IMPOSSIBILE	SI	NO
EPROM	MEDIANTE IMPULSI ELETTRICI	LUCE ULTRAVIOLETTA (TEMPO LUNGO)	NON VOLATILE (MANTIENE L'INFORMAZIONE)	LABORIOSA (10-30 min.)	SI	(*)
EEPROM	MEDIANTE IMPULSI ELETTRICI	MEDIANTE IMPULSI ELETTRICI AD ALTA TENSIONE (CIRCA 20-25 V)	NON VOLATILE (MANTIENE L'INFORMAZIONE)	FACILE	SI	SI

(*) LA SCRITTURA DELLE MEMORIE EPROM E` POSSIBILE MEDIANTE L'USO DI APPARECCHIATURE POSTE AL DI FUORI DEL PLC

Tab. 4.1 - Caratteristiche essenziali delle memorie a semiconduttore più comuni.

4.11 - TIPI DI MEMORIA UTILIZZATI NEI PLC

Nei PLC si possono trovare memorie che svolgono differenti compiti. In particolare la memoria si può suddividere in due gruppi: quella usata dal software di sistema e quella a disposizione dell'utente.

La memoria usata dal software di sistema contiene il **set di istruzioni** ed eventuali procedure (**subroutine**) qualora il PLC sia in grado di effettuare operazioni su archivi su disco, calcoli matematici, ecc..

Questa memoria non è in genere mai accessibile all'utente nè in lettura nè in scrittura.

Viene programmata dal costruttore in fase di progetto del PLC e solitamente non necessita mai di modifiche una volta che il PLC è operativo su un determinato impianto; vengono pertanto utilizzate delle memorie ROM o PROM o, in alcuni casi, delle EPROM.

È da sottolineare il fatto che questa memoria non è accessibile all'utente, in quanto contiene il software di sistema che impone rigidamente al PLC un dato comportamento di base. È su un tale comportamento che si deve inserire il programmatore che, utilizzando le istruzioni e le procedure messe a disposizione dal sistema, adatta il PLC alle proprie esigenze.

La memoria a disposizione dell'utente è la memoria nella quale vengono scritti i programmi necessari per realizzare le funzioni desiderate, la sua capacità normalmente varia da 256 a oltre 32 K parole (16 bit).

Si ha comunque a disposizione anche una certa quantità di memoria (RAM) per memorizzare i contenuti dei contatori, dei temporizzatori, dei relè interni o per memorizzare singoli bit che rappresentano lo stato logico degli ingressi e delle uscite (memoria immagine I/O).

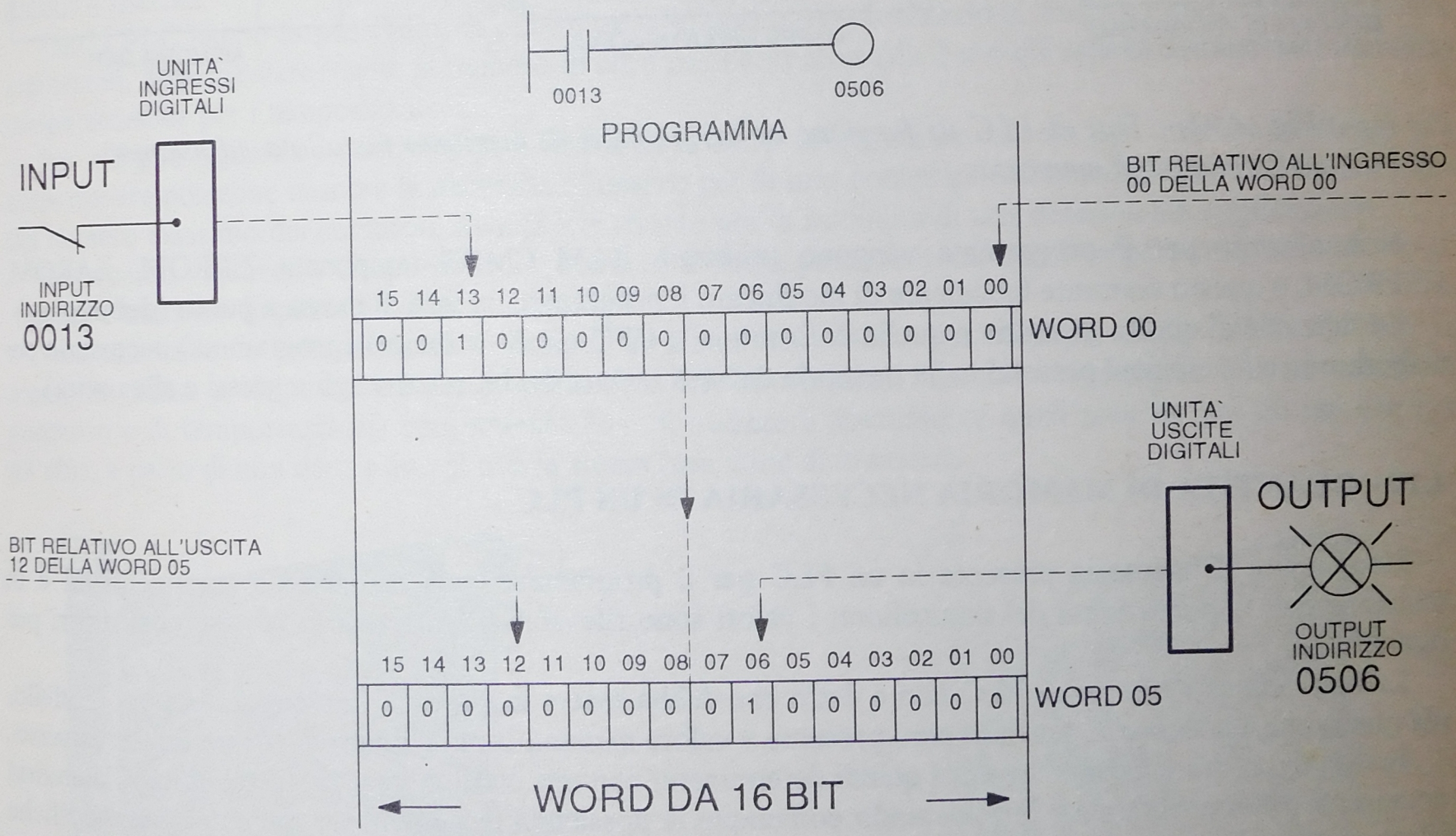


Fig. 4.20 - Esempio di uso della memoria dati in un programma per PLC.

Una parte di tale memoria, usata per questi dati, può essere tamponata (alimentata cioè, in mancanza della normale alimentazione, da una batteria, in genere al litio), si riesce così a tenere memorizzato un conteggio o lo stato logico di un determinato relè interno: ciò può essere utile ad esempio per far ripartire correttamente l'impianto al ritorno della normale alimentazione.

In definitiva la memoria utente si suddivide in memoria di programma e memoria di lavoro o memoria dati.

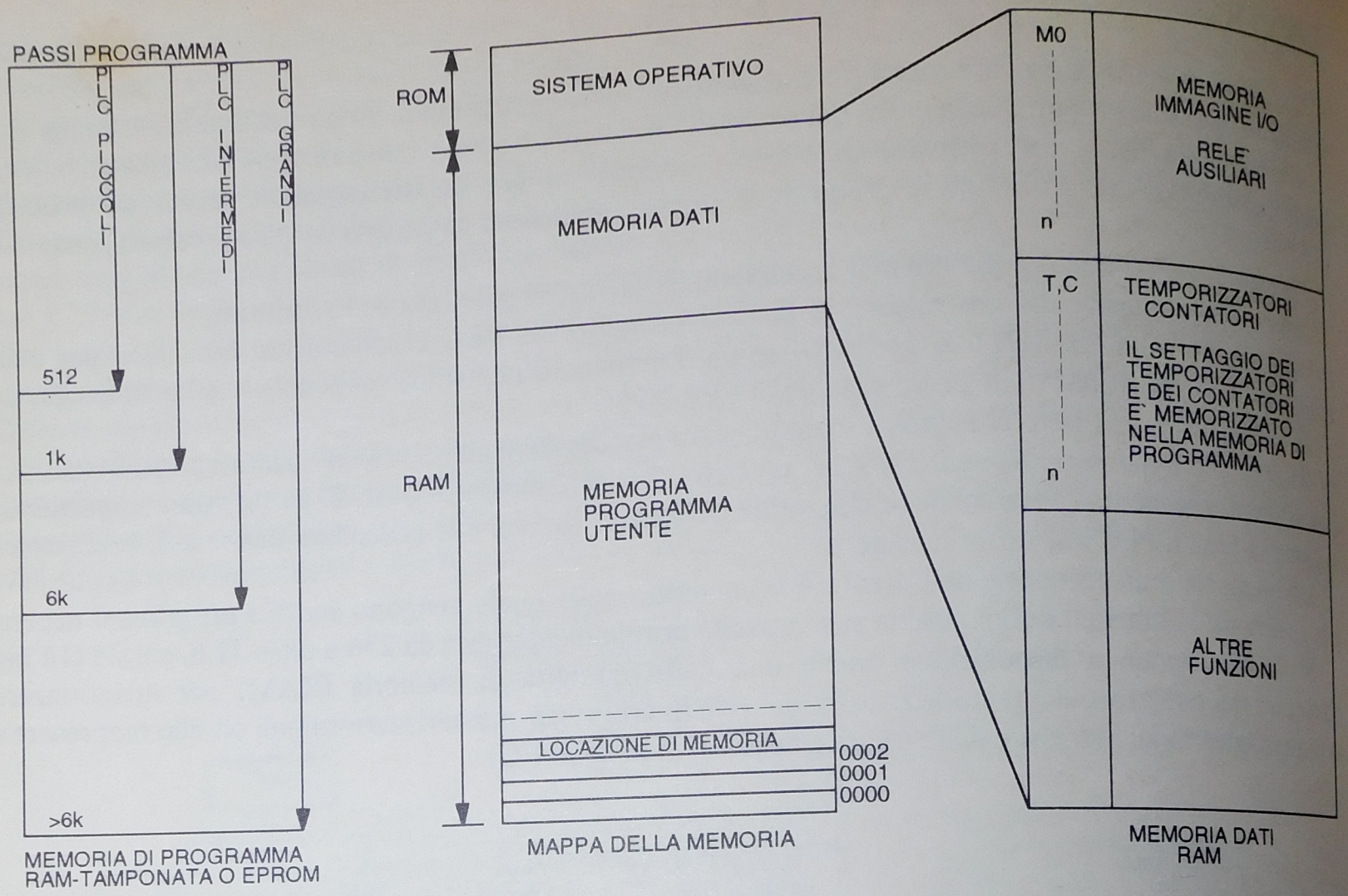


***Fig. 4.21** - Tipi di PLC in funzione della quantità di memoria installata ed esempio della mappa di memoria.*

Normalmente per il programma vengono utilizzate RAM CMOS tamponata, EPROM, EAROM, EEPROM, e questo consente facilmente di modificare il programma in fase di messa a punto (**debugging**).

La funzione di questa memoria è quella di fornire alla CPU quelle istruzioni (programma) necessarie per elaborare le informazioni presenti nella memoria dati (es. valore dei bit relativi agli ingressi e alle uscite).

4.12 - QUANTITÀ DI MEMORIA NECESSARIA IN UN PLC

La quantità di memoria presente in un PLC per il programma varia da modello a modello ed è in relazione con le potenzialità del controllore; i valori sono rilevabili nei manuali forniti dai costruttori per ogni PLC.

La memoria esistente in un PLC non è detto che debba essere la massima consentita per quel modello, ma quella che è necessaria, tenendo però presente il valore massimo a cui il controllore può essere espanso.

In fase di programmazione bisogna quindi determinare, con una certa tolleranza,. la quantità di memoria necessaria per il programma, considerando comunque la possibilità di aggiungere memoria per modifiche rilevanti o ampliamenti del programma.

In primo luogo è necessario sapere il numero delle istruzioni, per il linguaggio di programmazione scelto, memorizzabili per **K** di memoria; in secondo luogo occorre conoscere la lunghezza della word necessaria per codificare una determinata istruzione; tale valore, definito dalle caratteristiche del PLC, è in genere pari a 8 o 16 bit.

La quantità di memoria utile perciò la si può determinare moltiplicando il numero di parole necessarie al programma per la lunghezza di ogni singola word.

La capacità di memoria di un PLC viene indicata, in genere, mediante un'unità di misura, cioè il **K**.

Un K equivale al numero 1024, cioè 2^{10}, perciò se un costruttore indica una memoria massima di 6K per un determinato PLC vuole dire che esso può memorizzare sino ad un massimo di 6*1024 word; se ogni istruzione è codificabile con una sola word, allora il valore precedente coincide con il numero massimo di istruzioni utilizzabili per realizzare un programma, in realtà una istruzione può occupare una o più word (es. fino a 4), nel qual caso la prima word è occupata dall'istruzione stessa, mentre le successive possono essere occupate da eventuali operandi.

Per la valutazione della memoria è necessario inoltre conoscere la quantità minima di incremento, che da una configurazione di base (la più economica) permette di arrivare al valore necessario per una determinata applicazione e per eventuali futuri ampliamenti, sino ovviamente a raggiungere il valore massimo definito per ogni controllore.

DIMENSIONE DEL PLC	NUMERO MASSIMO I/O	DIMENSIONE DELLA MEMORIA DI LAVORO (N. ISTRUZIONI)
PICCOLO MEDIO GRANDE	128 1024 >=1024	~1k ~6k >6k

Tab. 4.2 - Categorie dei PLC in funzione del numero di I/O e della dimensione della memoria di lavoro.

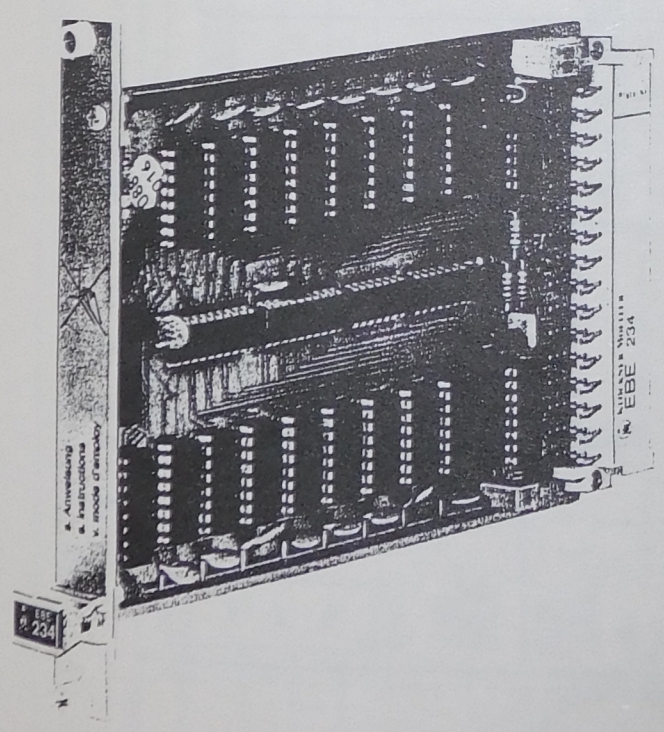
Legati alla memoria contenuta in un PLC sono la quantità e il tipo di contatori e temporizzatori di cui è dotato il sistema.

Tutti i PLC hanno la possibilità di effettuare conteggi e temporizzazioni, esistono però delle differenze importanti, in particolare legate al numero di cifre per i contatori (da 2 a 4 cifre) e al minimo e al massimo tempo attuabile per i temporizzatori.

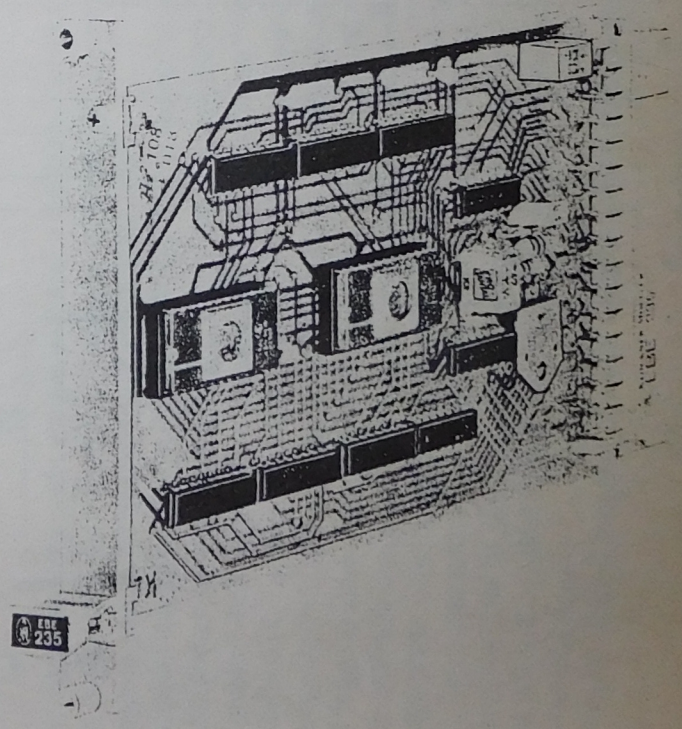
Per ciò che riguarda i contatori può essere necessario collegarli in cascata per ottenere conteggi più ampi oppure potrebbe nascere la necessità di usarne più di uno contemporaneamente, quindi la conoscenza del numero massimo dei contatori diventa importante per la fattibilità di una determinata applicazione.

Per quanto riguarda i temporizzatori, come si è detto precedentemente, è importante, oltre ai tempi minimo e massimo impostabili, il loro numero.

Interessante è la possibilità di utilizzare, in alcuni controllori (es. Omron C20, C20K, C40H), la memoria messa a disposizione per i contatori e i temporizzatori in modo non rigido (numero fisso di contatori e di temporizzatori) consentendo così di utilizzare liberamente quell'area sia per gli uni che per gli altri, a patto di non dare a due di essi la stessa locazione di memoria.



a



b

Fig. 4.22 - a) Esempio di scheda per PLC con memoria RAM - b) Esempio di scheda per PLC con memoria EPROM.

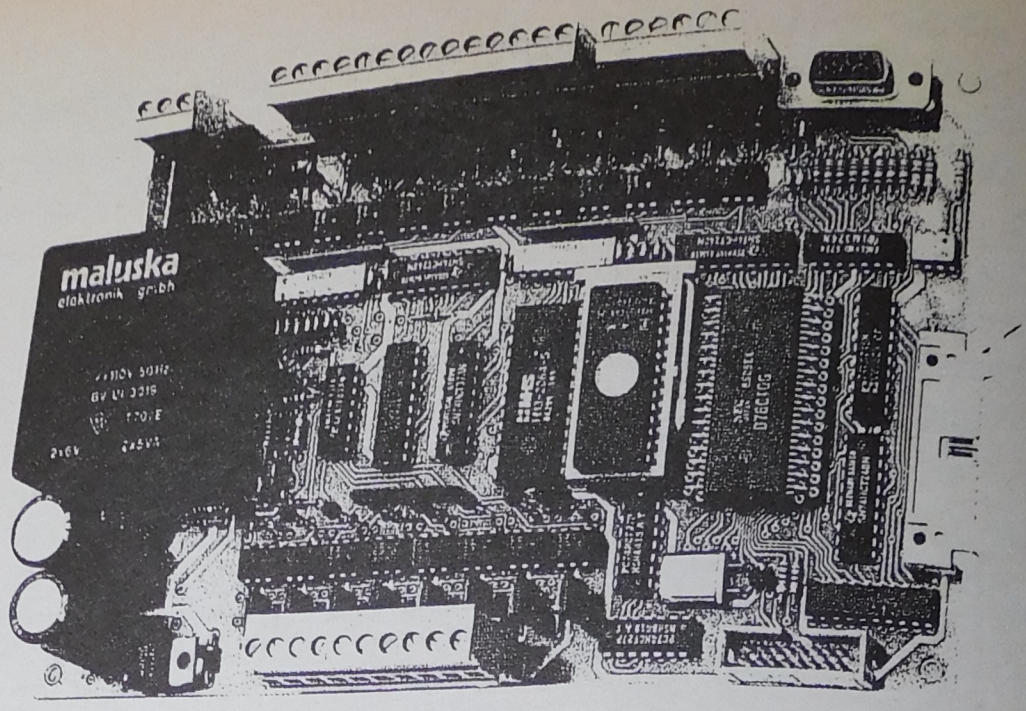


Fig. 4.23 - Scheda base del PLC MICROREG 2600, 20 input/output, completa di alimentatore (sulla sinistra), interfaccia seriale RS232C (in alto a destra), porta di espansione e connessione verso l'unità di programmazione (in basso a destra). La memoria EPROM è distinguibile dalla finestrella trasparente. I morsetti relativi ai 12 ingressi (in alto) e i morsetti relativi alle uscite (in basso) sono distinguibili anche per la presenza di altrettanti diodi emettitori di luce (LED) di segnalazione.

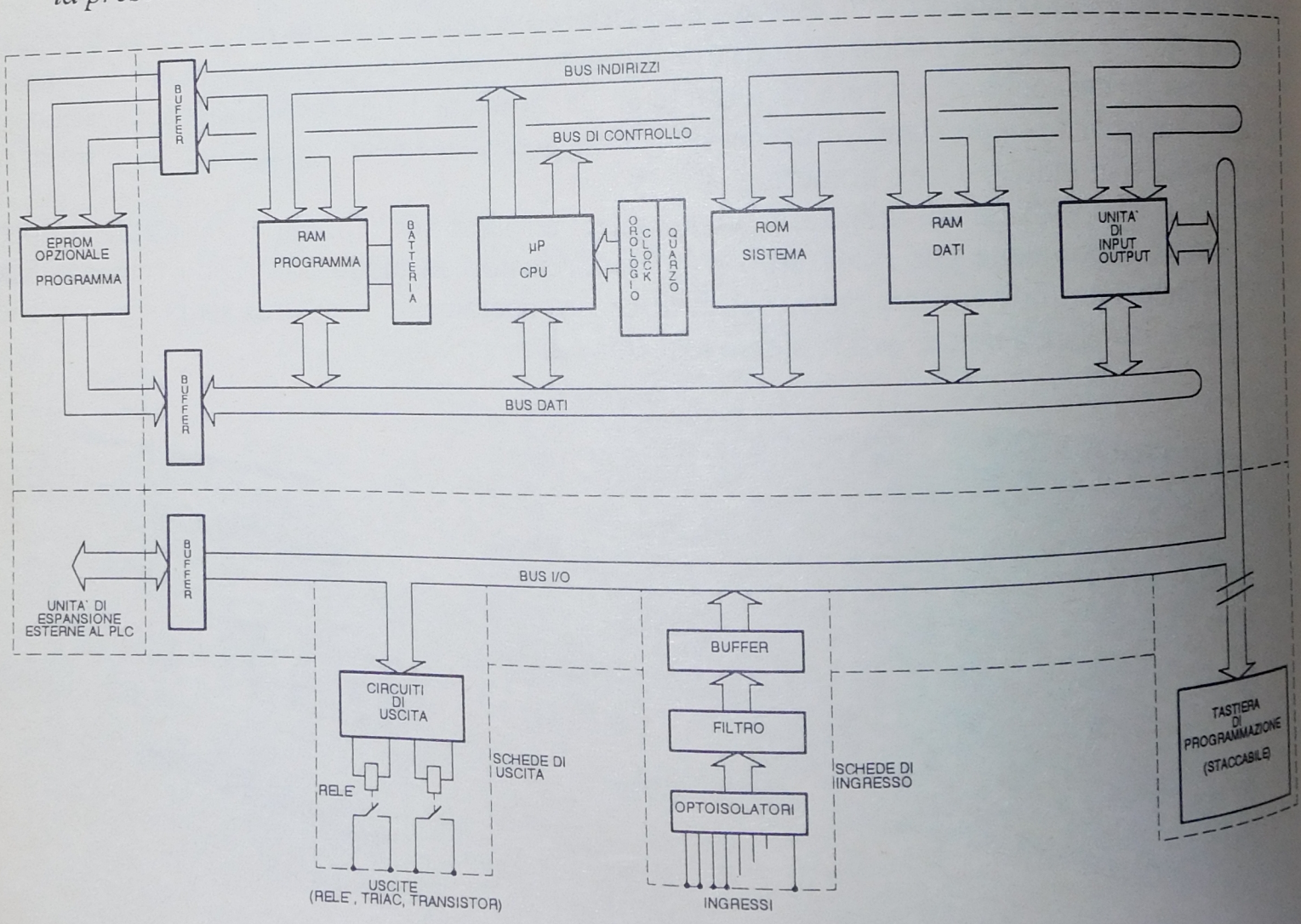
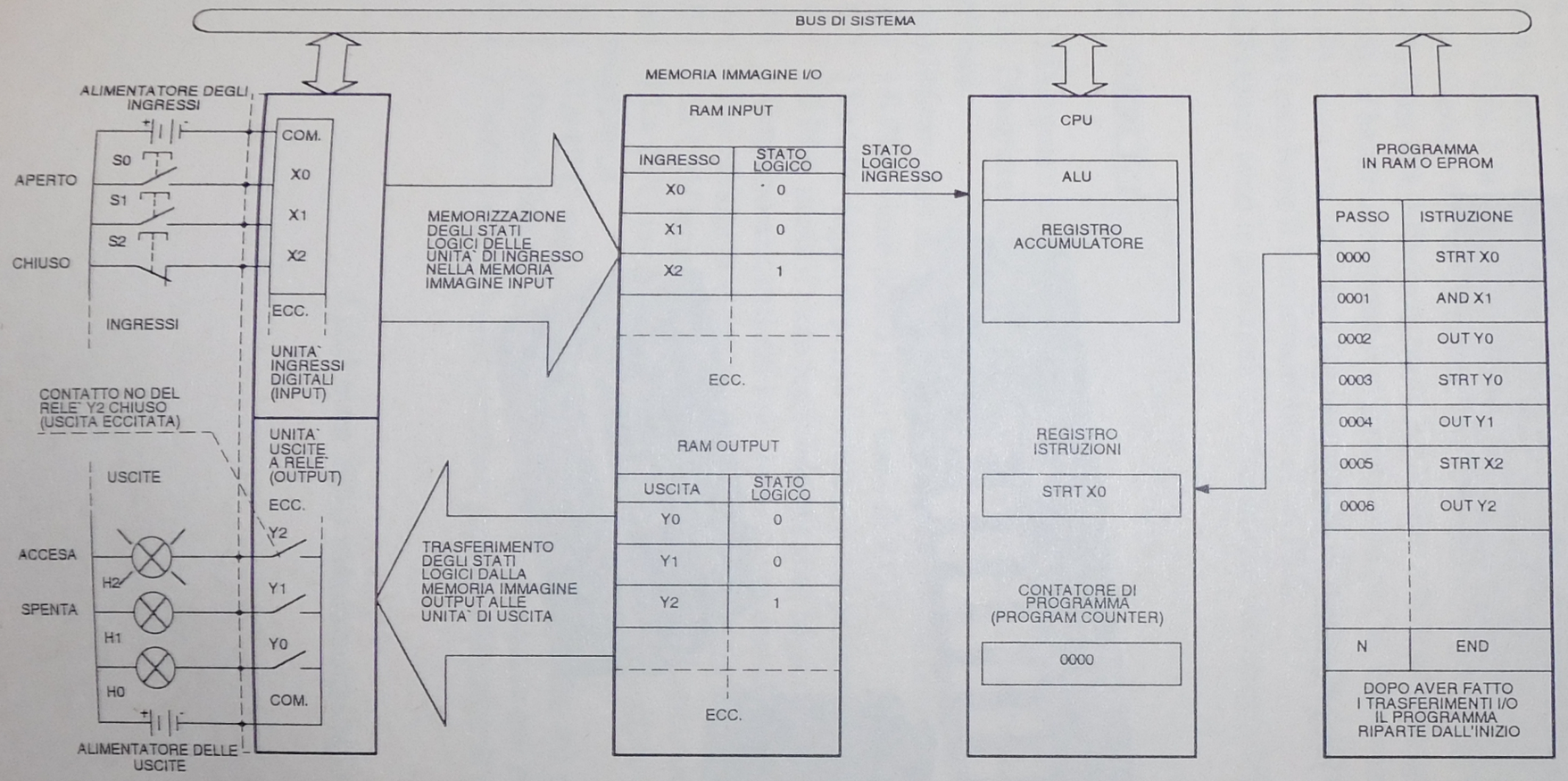
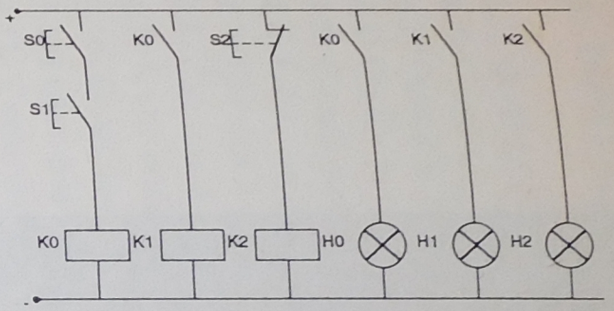


Fig. 4.24 - Architettura di un PLC.





SCHEMA ELETTRICO

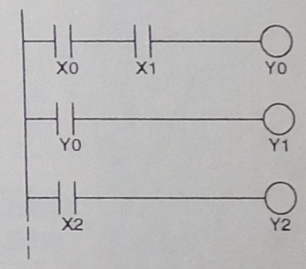


DIAGRAMMA LADDER

INDIRIZZO	PROGRAMMA
0000	STRT X0
0001	AND X1
0002	OUT Y0
0003	STRT Y0
0004	OUT Y1
0005	STRT X2
0006	OUT Y2
- - -	- - - - -
- - -	- - - - -
- - -	- - - - -
N	END

PROGRAMMA

1) Il programma viene caricato nella memoria RAM o EPROM del PLC.
2) Il PLC viene posto nello stato di RUN. Vengono letti tutti gli ingressi e vengono memorizzati gli stati logici nella rispettiva sezione RAM I/O.
3) Subito il program counter si posiziona alla locazione 0000.
4) La CPU esamina l'istruzione della locazione 0000, che in questo caso è STRT X0, e la carica nel registro istruzione.
5) L'ingresso X0 può avere lo stato logico 0 o 1, questo è determinato dai contatti collegati all'unità di ingresso, tale valore logico è memorizzato nella I/O RAM.
6) La CPU a questo punto legge nella memoria I/O RAM lo stato logico di X0 e memorizza il valore nel registro accumulatore (tale registro a sua volta ha all'interno uno o due registri) che è all'interno della CPU (questo per evitare perdite di tempo per scambiare i dati con la memoria I/O RAM).
7) Il program counter (PC) incrementa da 0000 a 0001 l'indirizzo della memoria di programma (RAM o EPROM).
8) Ora la CPU legge lo stato logico corrispondente all'ingresso X1 ed esegue l'operazione logica di AND, tale operazione viene eseguita da una parte del μP che si chiama ALU, che è l'unità logico aritmetica in grado di eseguire le operazioni aritmetiche e logiche. Il risultato dell'operazione viene memorizzato temporaneamente in un registro interno al registro accumulatore.
9) Il PC a questo punto si porta alla locazione 0002.
10) Ora la CPU, dopo aver letto l'istruzione OUT nella locazione 0002, invia il risultato dell'operazione alla memoria RAM I/O relativamente all'uscita Y0.
11) Vengono eseguite tutte le istruzioni del programma fino all'istruzione END, memorizzando nella I/O RAM durante l'esecuzione i risultati delle operazioni. I risultati vengono poi passati tutti insieme alle unità di uscita alla fine del ciclo. Tali unità provvedono per es. ad azionare un relè per ogni uscita che comanderà dei carichi (contattori, elettrovalvole, lampade, ecc.), nel nostro caso abbiamo delle lampade.
12) Dopo l'istruzione END il program counter viene resettato alla locazione 0000 e quindi se il PLC è nello stato di RUN l'esecuzione riparte per un nuovo ciclo.

Fig. 4.25 - Sequenza di funzionamento in un PLC (scansione sincrona in ingresso e in uscita).

4.13 - DOMANDE

4.1) Quali sono le parti fondamentali di un PLC?
4.2) Come si può classificare un PLC?
4.3) Qual è la funzione della CPU?
4.4) Qual è la funzione del clock?
4.5) Quanti sono e a che cosa servono i bus di comunicazione?
4.6) Esiste un legame tra i bus di comunicazione e il tipo di CPU adottato dal PLC?
4.7) Che cos'è e come è organizzata una memoria?
4.8) Che cos'è una memoria RAM?
4.9) A che cosa serve la batteria tampone?
4.10) Quali sono le differenze tra una memoria RAM e una memoria ROM?
4.11) Qual è la principale limitazione di una PROM?
4.12) Come si può riconoscere una memoria EPROM?
4.13) Quali sono i metodi per scrivere e cancellare le seguenti memorie: EPROM, EAROM, EEPROM?
4.14) Qual è il principale vantaggio delle memorie EEPROM rispetto alle memorie EPROM?
4.15) Qual è la particolarità che contraddistingue le memorie NOVRAM?
4.16) Elenca i tipi di memoria, che si possono trovare nei PLC, in funzione del tipo di utilizzo.
4.17) Qual è la differenza tra la RAM dati e la RAM programma?
4.18) La batteria tampone è utilizzata solo per la memoria programma?
4.19) Esiste una relazione tra la quantità di memoria e il tipo di PLC?
4.20) Descrivere il funzionamento di un PLC.
4.21) Quali sono le principali caratteristiche che contraddistinguono i vari modelli di PLC?

4.14 - ESERCIZI

4.1) Disegnare la struttura di un PLC con le relative periferiche.
4.2) Disegnare la distribuzione delle funzioni sui terminali del microprocessore Z80 e spiegarne il significato.
4.3) Indicare con numeri progressivi la sequenza corretta relativa alle fasi operative di un PLC:
a) ( ) Il PLC viene posto nello stato di RUN
b) ( ) La CPU legge la prima istruzione del programma
c) ( ) Il PLC inizia il ciclo leggendo gli stati logici di tutti gli ingressi
d) ( ) Vengono azionati dei relè delle uscite che alimentano i carichi (lampade, contattori, ecc.)
e) ( ) Il programma viene caricato nella memoria RAM del PLC
f) ( ) La CPU legge nella memoria I/O lo stato logico dell'ingresso indicato dal programma
g) ( ) La CPU invia dopo l'istruzione OUT il risultato delle operazioni logiche all'uscita indicata dal programma
h) ( ) La CPU esegue le operazioni logiche indicate dal programma
i) ( ) Dopo l'istruzione END il programma riparte per un nuovo ciclo
j) ( ) Tutti i risultati logici vengono passati alle unità di uscita

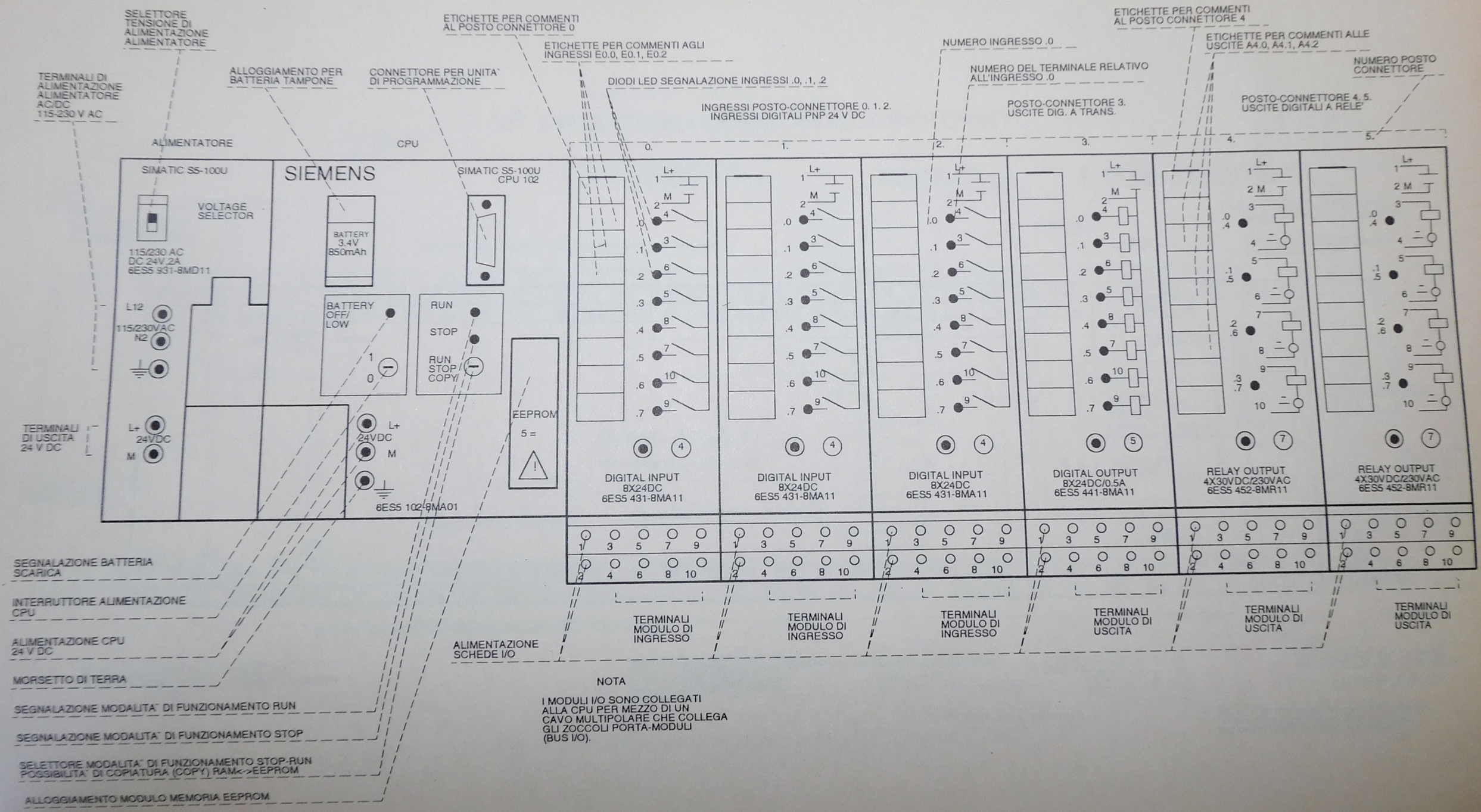


Fig. 5.17 - Dispositivi accessori del PLC Siemens S5-100U I/O digitali.

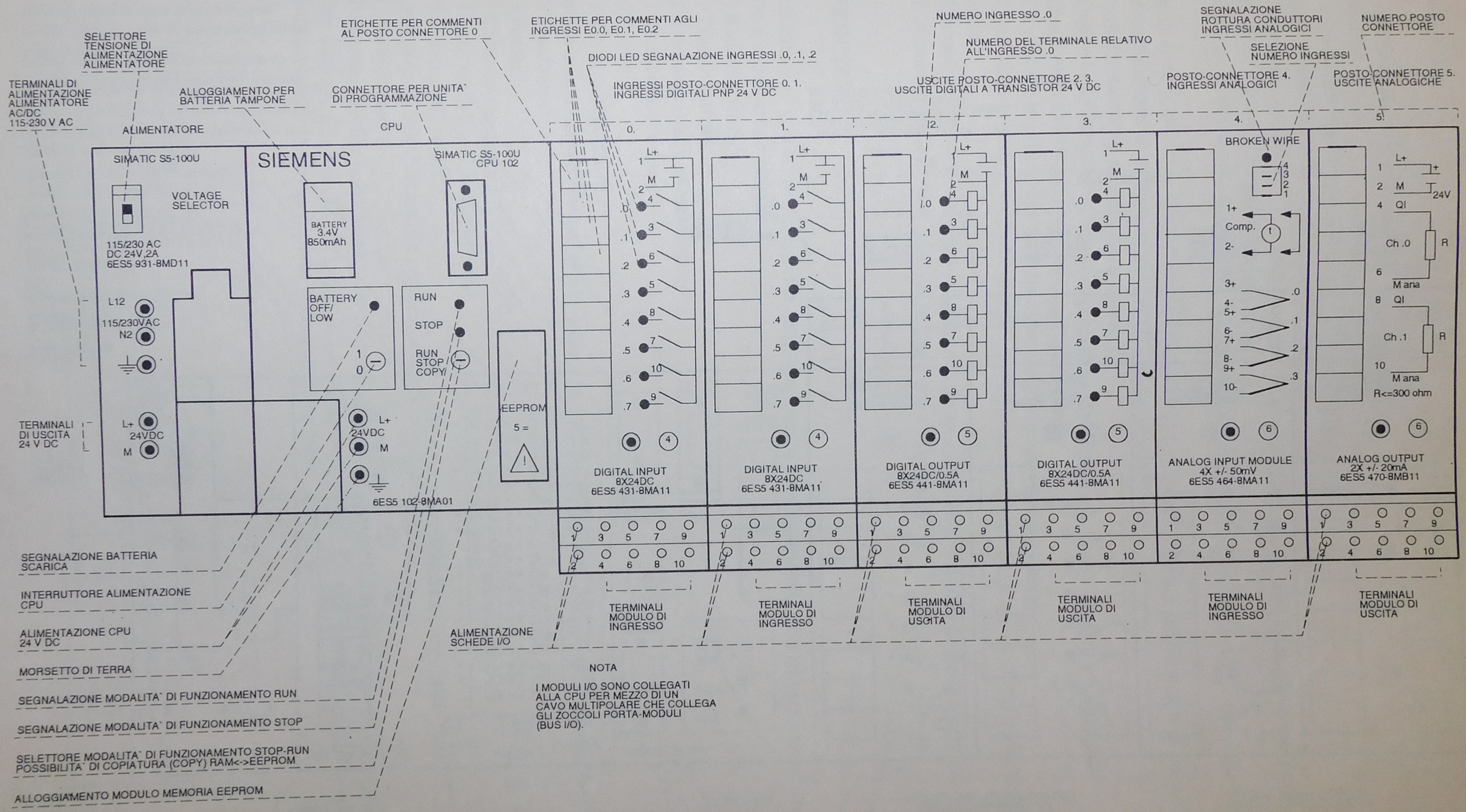


Fig. 5.18 - Dispositivi accessori del PLC Siemens S5-100U I/O digitali e analogici.

6. - DISPOSITIVI DI INGRESSO E DI USCITA DIGITALI

6.1 - CIRCUITI DI INGRESSO E DI USCITA

I circuiti di ingresso e di uscita collegano il controllore agli organi dell'automatismo o dell'impianto, trasformando ed adattando i segnali elettrici, provenienti da sensori, pulsanti, trasduttori, ecc., al PLC e inversamente i segnali dal controllore ai componenti di comando quali contattori, attuatori, ecc..

Questi circuiti di ingresso e di uscita permettono di adattare i valori di tensione e di corrente che esistono tra il PLC e i circuiti esterni, consentendo inoltre il cosiddetto isolamento galvanico fra i circuiti interni e quelli esterni.

In particolare negli ingressi questi circuiti filtrano eventuali disturbi di natura elettrica, che si possono incontrare negli ambienti industriali; tali interferenze, se di valore elevato, potrebbero essere considerate dal PLC come dei segnali veri e propri e quindi utilizzate come tali, con conseguenze davvero imprevedibili.

L'isolamento galvanico, che viene generalmente fatto sia sui circuiti di ingresso che di uscita, è realizzato mediante dei dispositivi fotoaccoppiatori che sono in grado di garantire un isolamento, tra due circuiti, da un minimo di 1500 V ad un massimo di 4000 V.

Un fotoaccoppiatore può essere composto da un diodo emettitore di luce (LED) posto affacciato ad un fototransistor ricevitore, entrambi racchiusi in un unico contenitore; è possibile quindi permettere il passaggio di corrente nel fototransistor solo quando il diodo è alimentato e cioè mentre emette luce, si ottiene così il trasferimento dell'informazione logica tra due circuiti che di fatto sono elettricamente isolati fra di loro, un po' come accade nei trasformatori con gli avvolgimenti separati, dove l'accoppiamento tra il circuito elettrico del primario è legato al circuito elettrico del secondario mediante il circuito magnetico.

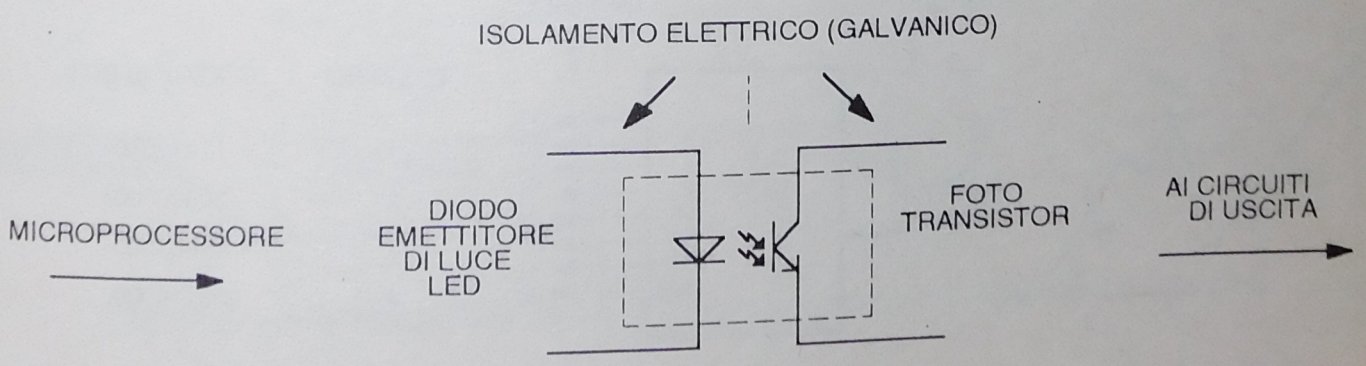


Fig. 6.1 - Esempio di isolamento galvanico mediante fotoaccoppiatore in un circuito di uscita.

Un'altra importante causa di errore nei circuiti di ingresso è rappresentata dall'effetto rimbalzo dei contatti, i quali, a causa dell'elasticità dei materiali di cui sono costituiti, all'atto del loro azionamento si aprono e si chiudono più volte, dando origine ad una serie di impulsi che il PLC può interpretare in modo errato.

Particolari circuiti di ingresso e alcuni accorgimenti software possono proteggere il PLC da questi disturbi.

Un disturbo generalmente è di breve durata, mentre un segnale proveniente da un sensore ha una durata maggiore; è sufficiente perciò introdurre un ritardo nell'acquisizione dei dati (9-25 ms, questo fa sì che se un segnale si mantiene inalterato per un certo tempo solo allora è considerato valido dal PLC.

È importante ricordare che circa l'80% dei guasti che vengono riscontrati nei PLC si verificano proprio nei circuiti di ingresso e di uscita.

Si usa suddividere questi circuiti in base ai segnali che devono scambiare con il controllore.

Possono essere principalmente:

1) digitali ON/OFF
2) analogici

Come noto, i segnali digitali possono assumere solo due valori: ON (1) oppure OFF (0), cioè avere o non avere una determinata tensione ad un dato ingresso; i valori di tensione sono ricavabili dalle specifiche tecniche del PLC.

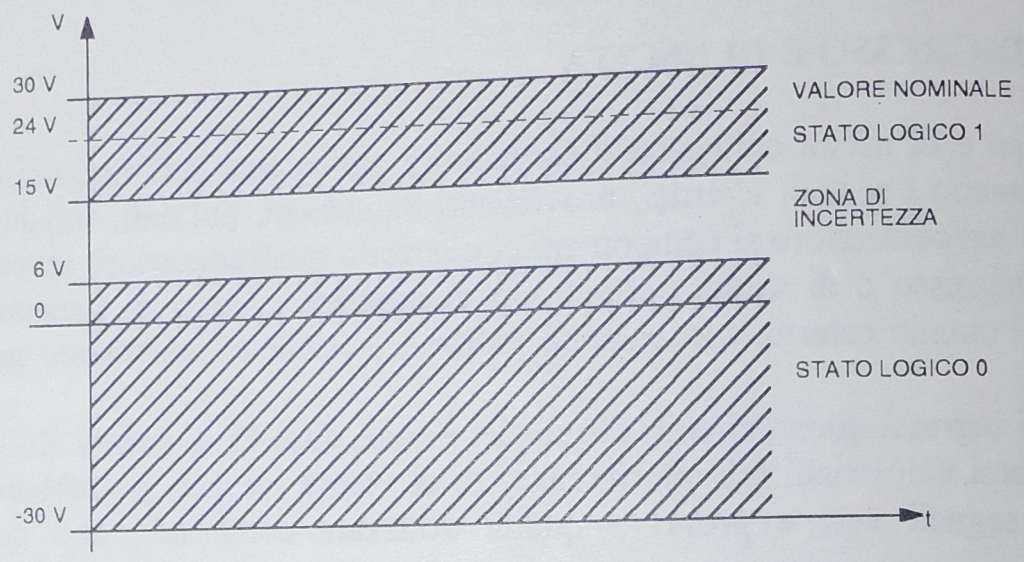


Fig. 6.2 - Livelli logici dei circuiti di ingresso digitali a 24 V DC.

Sono da considerare analogici i circuiti di ingresso (A/D) che trasformano dei segnali elettrici proporzionali a determinate grandezze fisiche come tensioni, correnti, pressioni, temperature, ecc., provenienti da sensori, in segnali digitali che i circuiti interni del PLC sono in grado di elaborare; viceversa i circuiti di uscita (D/A) trasformano dei segnali digitali elaborati dal PLC in segnali analogici utili per esempio per comandare attuatori come valvole proporzionali, azionamenti elettrici per motori, ecc.

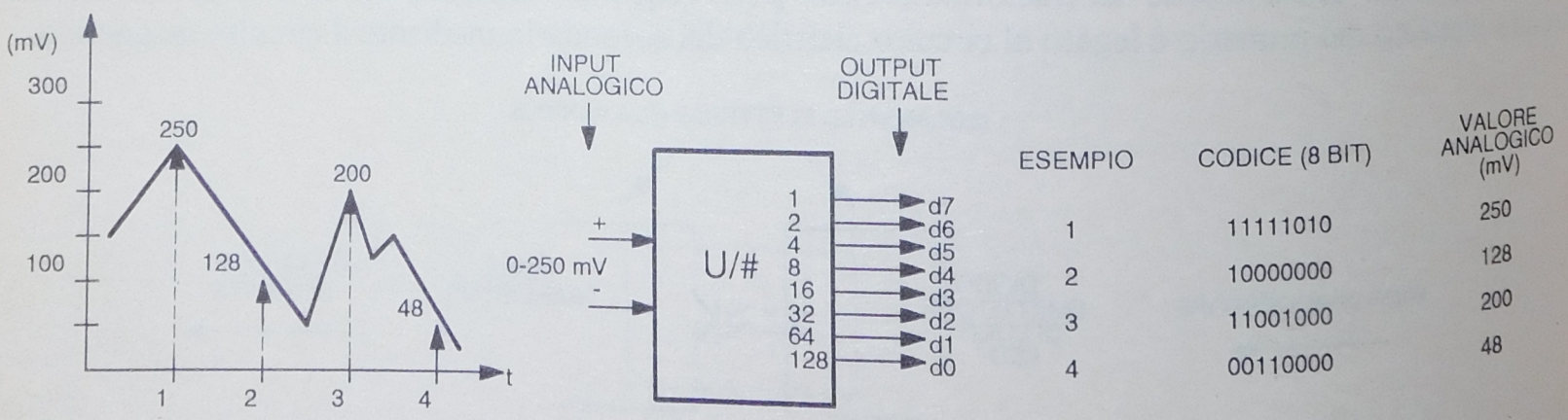


Fig. 6.3 - Esempio di convertitore analogico/digitale a 8 bit.

I segnali analogici gestibili possono assumere qualsiasi valore compreso tra un minimo, per esempio di 0 mA, e un massimo di 20 mA se in corrente oppure da 0 a 10 V se in tensione ecc.. Per individuare i segnali gestibili da un determinato PLC occorre consultare i manuali tecnici dei vari modelli disponibili in commercio.

La gestione e la conversione di questi segnali richiede l'uso di particolari circuiti che generalmente utilizzano un microprocessore dedicato a questo lavoro, ciò per sollevare il microprocessore del PLC da un lavoro molto gravoso.

L'uso di questi circuiti rende particolarmente costose le schede che trattano i segnali analogici rispetto alle schede che trattano i segnali digitali.

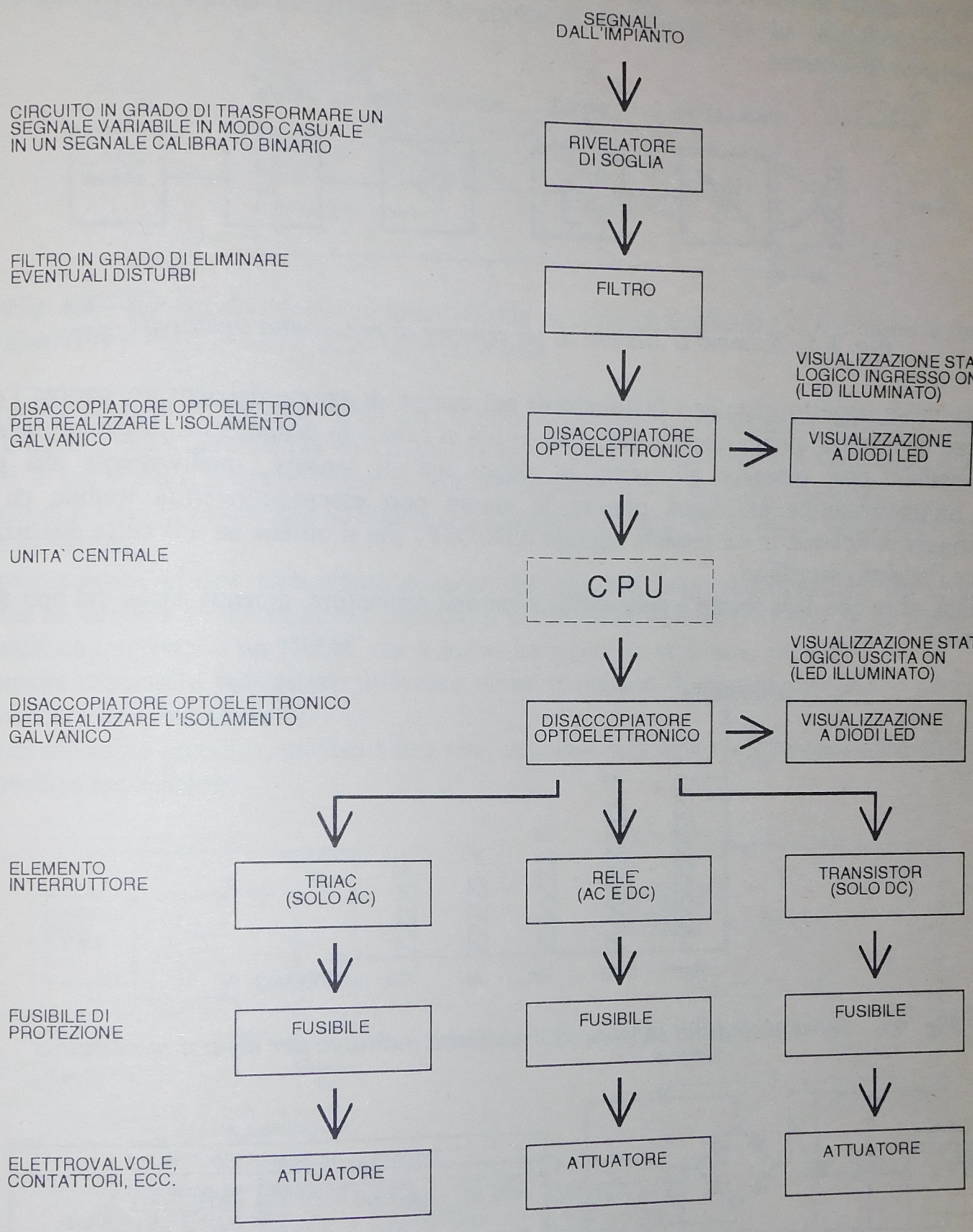


Fig. 6.4 - Schema a blocchi di moduli di ingresso e di uscita digitali.

6.2 - SENSORI INDUTTIVI, CAPACITIVI, ULTRASONICI, FOTOELETTRICI, MAGNETICI

Oltre ai normali contatti elettromeccanici, quali pulsanti, selettori, finecorsa, relè, è possibile collegare ai PLC anche sensori di vario genere, in particolare sensori induttivi, capacitivi ed ultrasonici nonchè le fotocellule.

I sensori di prossimità induttivi sono utilizzati per il rilevamento di oggetti metallici. Essi presentano al loro interno un oscillatore ad alta frequenza in grado di produrre un campo elettromagnetico nelle immediate vicinanze del sensore.

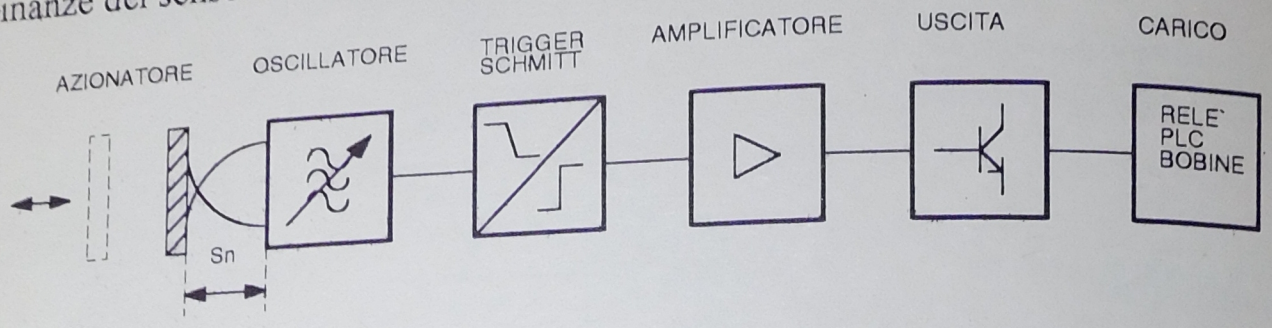


Fig. 6.5 - Schema a blocchi di un sensore di prossimità induttivo.

La presenza di un oggetto metallico (azionatore) nel campo di azione del sensore smorza l'ampiezza dell'oscillazione che risulta quindi decrescente quanto più si riduce la distanza tra l'oggetto metallico e il sensore; è possibile così ottenere all'uscita, in alcuni tipi di sensore, relativamente alla posizione dell'oggetto un'informazione analogica oppure la stessa può essere convertita tramite un circuito denominato trigger di Schmitt in un segnale digitale (ON/OFF) che si ottiene ad una certa distanza minima tra il sensore e l'oggetto metallico.

La sensibilità, oltre che dalla forma e dalle dimensioni dell'azionatore, dipende anche dal tipo di metallo di cui è costituito.

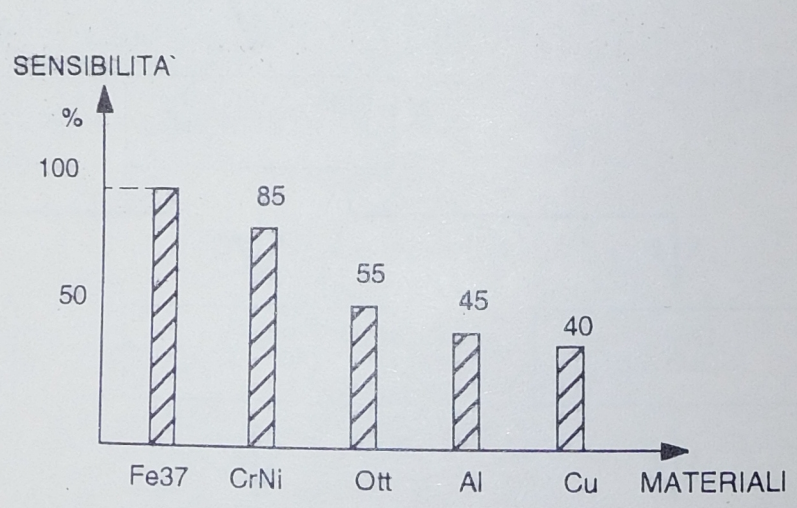


Fig. 6.6 - Sensibilità di un sensore di prossimità induttivo per diversi materiali.

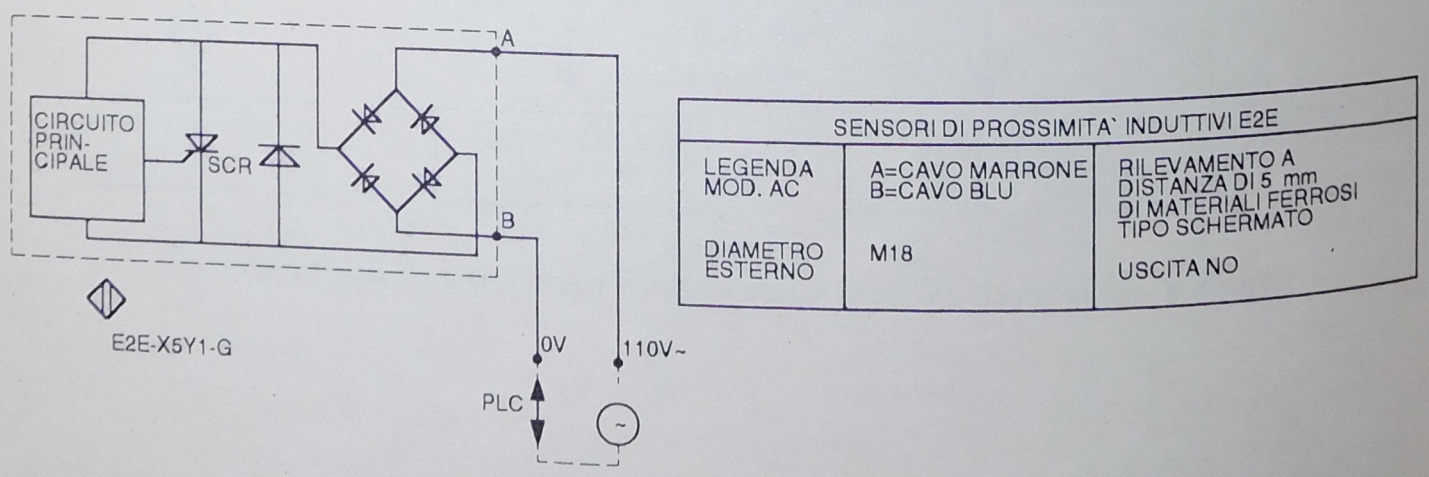
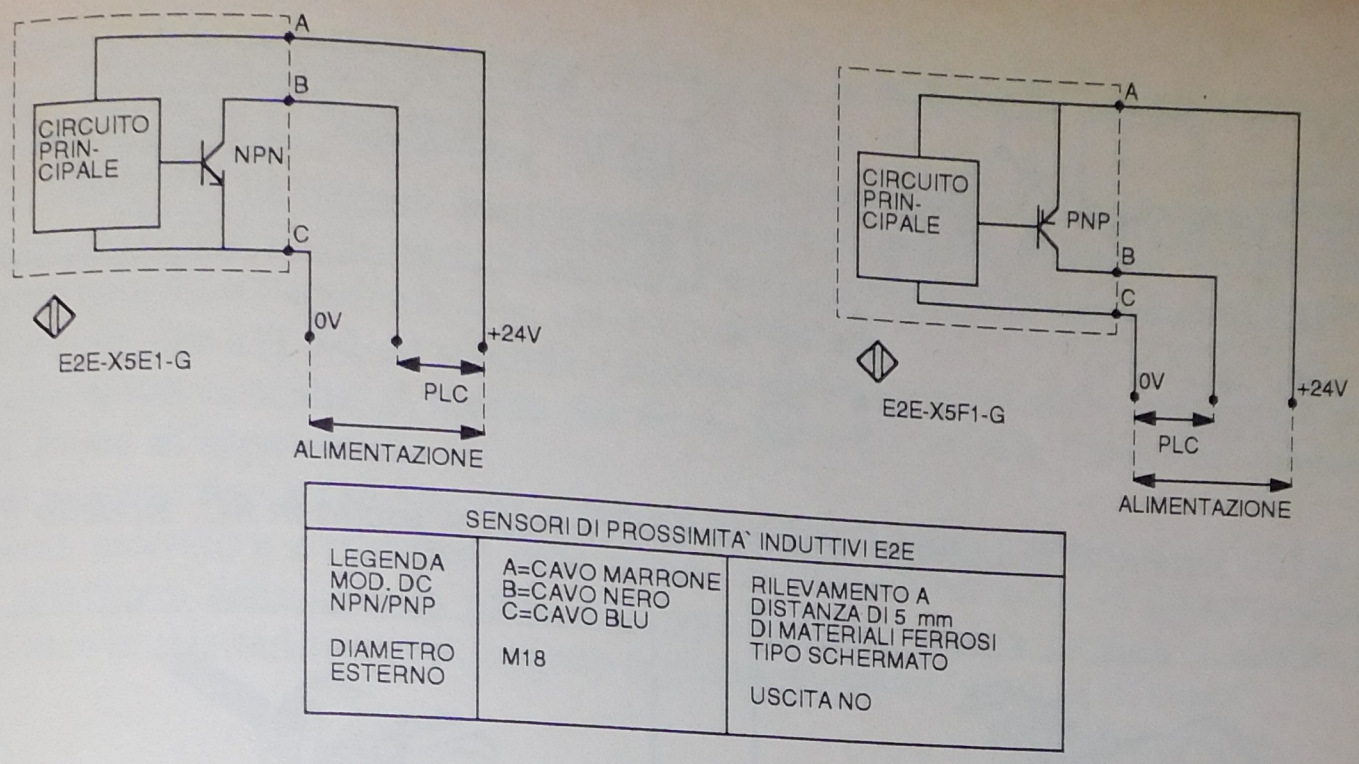


Fig. 6.7 - Sensore di prossimità induttivo con circuito di uscita in AC, modello E2E-X, marca Omron.



SENSORI DI PROSSIMITA` INDUTTIVI E2E		
LEGENDA MOD. DC NPN/PNP	A=CAVO MARRONE B=CAVO NERO C=CAVO BLU	RILEVAMENTO A DISTANZA DI 5 mm DI MATERIALI FERROSI TIPO SCHERMATO
DIAMETRO ESTERNO	M18	USCITA NO

Fig. 6.8 - Sensori di prossimità induttivi con circuito di uscita in DC a collettore aperto tipo NPN e PNP, modello E2E, marca Omron.

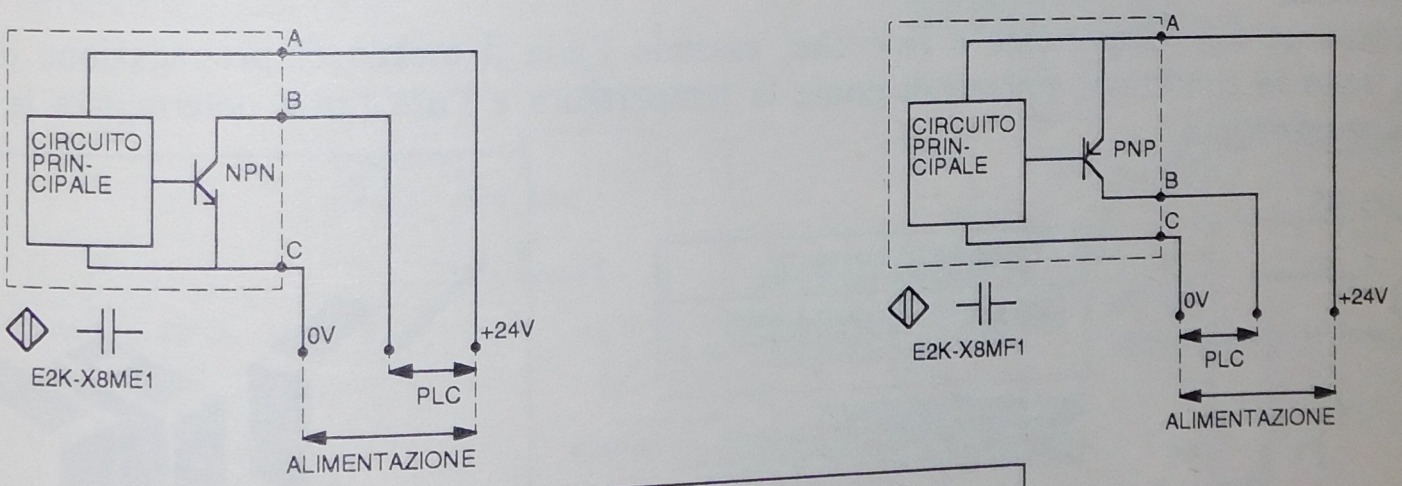
Esistono in commercio modelli schermati e non schermati, i primi hanno in genere una distanza di intervento minore, ma è permessa la loro installazione su piastre metalliche o il montaggio affiancato, entro certi limiti, di più sensori, senza problemi di mutua interferenza o di malfunzionamenti.

I sensori di prossimità capacitivi sfruttano la variazione di capacità parassita che si crea tra il sensore e l'oggetto da rilevare.

In corrispondenza ad una determinata distanza dell'oggetto dalla faccia sensibile del sensore, entra in oscillazione un circuito e l'insorgere o il cessare di tale oscillazione viene sentita da un rilevatore di soglia che comanda un transistor o un TRIAC che a sua volta agisce su un carico esterno.

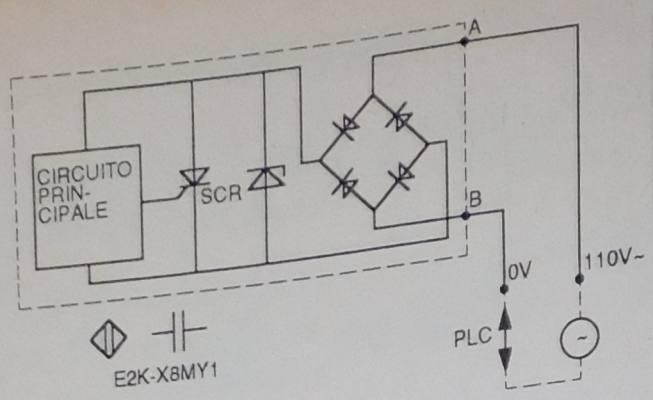
Un sensore capacitivo può essere utilizzato come rilevatore di oggetti metallici o non metallici (es. legno, plastica, vetro, liquidi, ecc.).

In alcuni modelli è possibile, mediante una vite, regolare la distanza d'intervento per adattare il sensore ad una specifica applicazione.



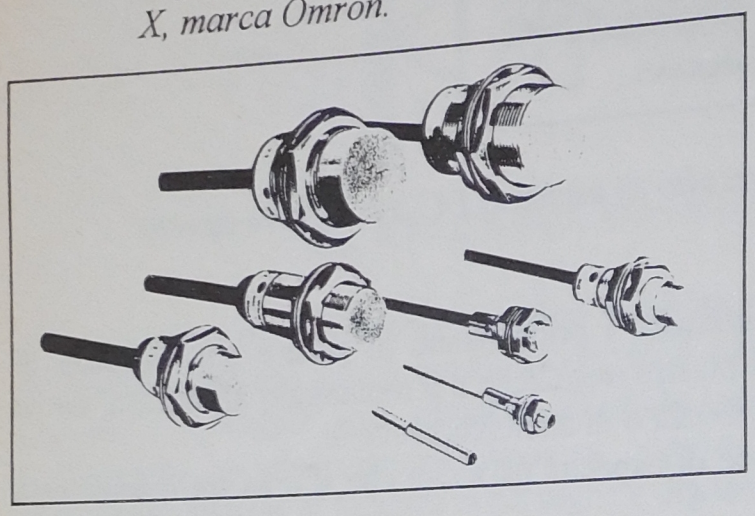
SENSORI DI PROSSIMITA` CAPACITIVI E2K-X		
LEGENDA MOD. DC NPN/PNP	A=CAVO ROSSO B=CAVO BIANCO C=CAVO NERO	RILEVAMENTO, CON DISTANZA DI 8 mm, DI QUASI TUTTI I TIPI DI MATERIALI
DIAMETRO ESTERNO	M18	USCITA NO

Fig. 6.9 - Sensori di prossimità capacitivi con circuito di uscita in DC a collettore aperto tipo NPN e PNP, modello E2K-X, marca Omron.

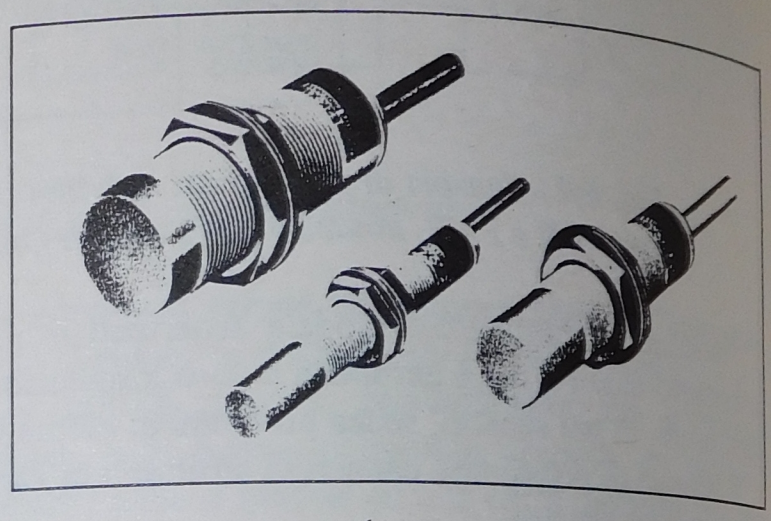


SENSORI DI PROSSIMITA' CAPACITIVI E2K-X		
LEGENDA MOD. AC	A=CAVO BIANCO B=CAVO NERO	RILEVAMENTO, CON DISTANZA DI 8 mm, DI QUASI TUTTI I TIPI DI MATERIALI
DIAMETRO ESTERNO	M18	USCITA NO

Fig. 6.10 - Sensore di prossimità capacitivo con circuito di uscita in AC, modello E2K-X, marca Omron.



a

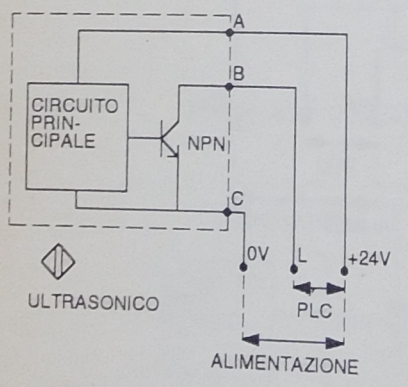


b

Fig. 6.11 - Sensori di prossimità marca Omron: a) Induttivi tipo E2E - b) Capacitivi tipo E2K-X.

I sensori di prossimità ultrasonici sfruttano l'emissione di impulsi sonori a frequenza elevata per rilevare la presenza di oggetti posti nelle loro vicinanze grazie all'eco dovuto alla riflessione degli ultrasuoni da parte degli oggetti stessi. Questa caratteristica li rende adatti a rilevare qualunque tipo di materiale anche ad elevata distanza.

Và ricordato un fatto importante e cioè che, essendo l'aria il mezzo di propagazione dell'impulso ultrasonico, sono le condizioni ambientali come la temperatura e l'umidità a determinare le condizioni critiche di funzionamento.



SENSORE DI PROSSIMITA' ULTRASONICO E4B-RS70E4	
LEGENDA MOD. DC NPN	A=CAVO ROSSO B=CAVO BIANCO C=CAVO NERO

RILEVAMENTO DI OGGETTI INDIPENDENTEMENTE DA COLORE, TRASPARENZA E TIPO DI MATERIALE A DISTANZA REGOLABILE DA 20 A 70 cm

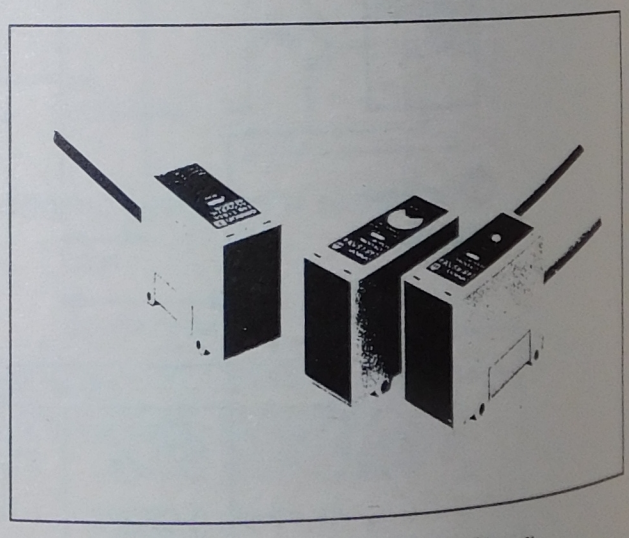


Fig. 6.12 - Sensore di prossimità ultrasonico a zona prefissata con circuito di uscita a collettore aperto tipo NPN, modello E4B-RS70E4, marca Omron.

I sensori fotoelettrici infine sono costituiti da un emettitore di luce e da un ricevitore fotosensibile; il raggio emesso viene focalizzato sul ricevitore che lo trasforma in un segnale elettrico, l'intercettazione del raggio determina la commutazione del segnale in uscita del ricevitore. Al fine di evitare che la luce ambiente influenzi la sensibilità del sensore oppure che si creino interferenze tra apparecchi ravvicinati, la luce viene modulata, per cui l'elemento fotosensibile recepisce solo le radiazioni luminose per cui è stato tarato.

Nelle diverse applicazioni il rilevamento dell'oggetto è realizzabile secondo tre sistemi base: a sbarramento, a riflessione, reflex.

Nel sistema a sbarramento emettitore e ricevitore sono separati. Questa soluzione permette di individuare la presenza di un oggetto quando esso interrompe il fascio luminoso; questi modelli vengono generalmente impiegati per lunghe portate fino a (3-4 m) oppure per il rilevamento di oggetti il cui scarso potere riflettente impedisce l'adozione di un sistema a riflessione.

Per medie portate fino a (1.5-2 m) si presta il sistema a riflessione, nel quale emettitore e ricevitore sono incorporati nella stessa custodia, il ritorno del fascio luminoso avviene tramite un riflettore che viene posizionato di fronte all'apparecchio.

Per piccole distanze fino a (10-50 cm) si ricorre al sistema reflex (riflessione diretta). L'apparecchio incorpora ancora emettitore e ricevitore nello stesso involucro e riconosce la presenza dell'oggetto per effetto della riflessione della luce da parte dell'oggetto stesso. Per la taratura di questi apparecchi è essenziale valutare le caratteristiche dell'oggetto (dimensioni, colore, capacità riflettenti).

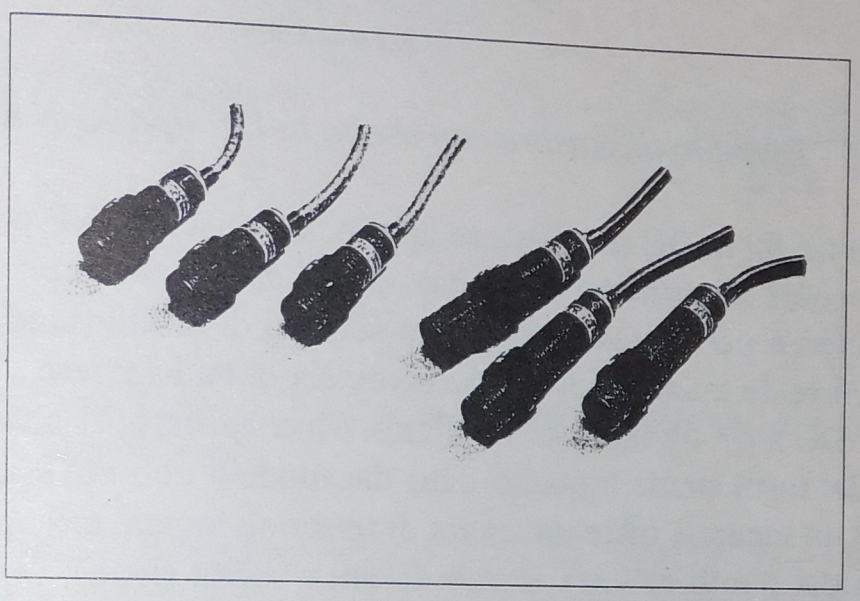


Fig. 6.13 - Fotocellule marca Omron tipo E3F.

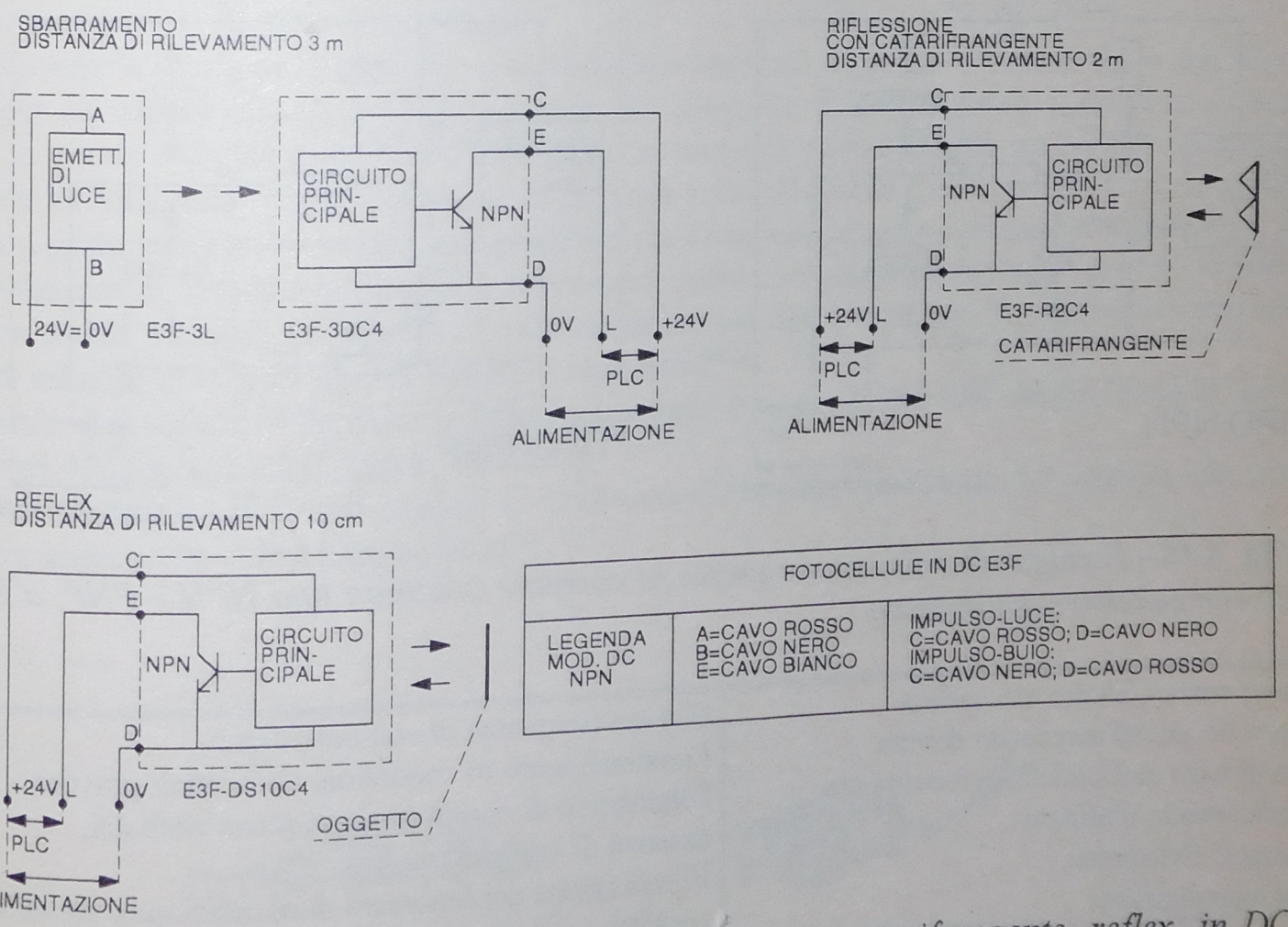


***Fig. 6.14** - Fotocellule a sbarramento, riflessione con catarifrangente, reflex, in DC con circuito di uscita a collettore aperto, tipo NPN, modello E3F, marca Omron.*

I sensori sopra elencati possono in genere essere alimentati o in DC o in AC, l'uscita può essere, a seconda dei tipi, statica a due o tre fili oppure a relè.

Nel caso di uscite statiche a due fili, essi devono essere collegati come i finecorsa elettromeccanici, cioè in serie al carico; contrariamente si avrebbe la distruzione immediata del sensore per cortocircuito nel caso di uscita NC, oppure la chiusura nel caso di uscita NO; nei modelli in DC inoltre occorre rispettare le polarità dell'alimentazione legate al tipo di transistor posto in uscita.

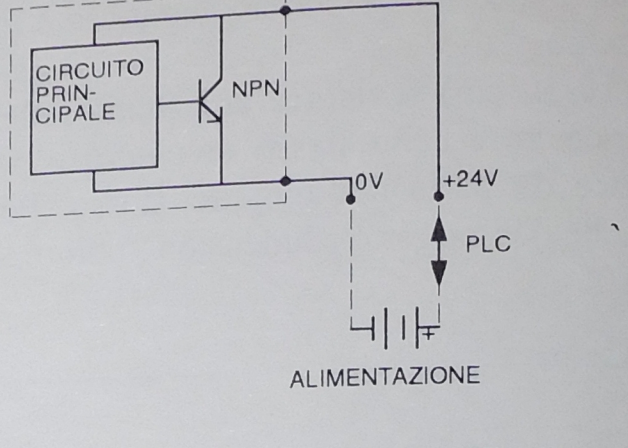
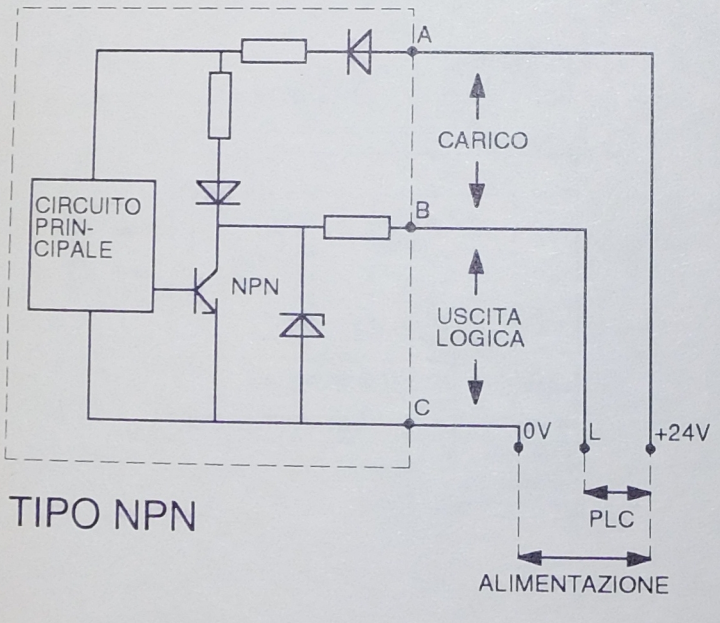


Fig. 6.15 - Esempio di sensore con uscita in DC tipo NPN a due fili.

Nel caso invece dei tipi a tre fili in DC a collettore aperto, con uscita PNP o NPN (a seconda del tipo di transistor usato dal sensore come interruttore in uscita), due di essi servono per l'alimentazione del sensore (attenzione alle polarità), il terzo per la trasmissione del segnale di uscita (load) in grado di comandare un carico, in genere, con una corrente massima di alcune centinaia di milliampere.

Qualora il sensore sia in DC a tre fili ma con il collettore incorporato, si possono ottenere due uscite: la prima fornisce un segnale del tutto simile a quello dato dai modelli con collettore aperto, in grado cioè di comandare un carico (load), la seconda offre un'uscita di tensione logica, utile per pilotare transistor o altri circuiti elettronici, opposta dal punto di vista logico all'altra uscita (load); infatti quando il carico è allo stato logico 1 l'uscita logica è allo stato logico 0 e viceversa.



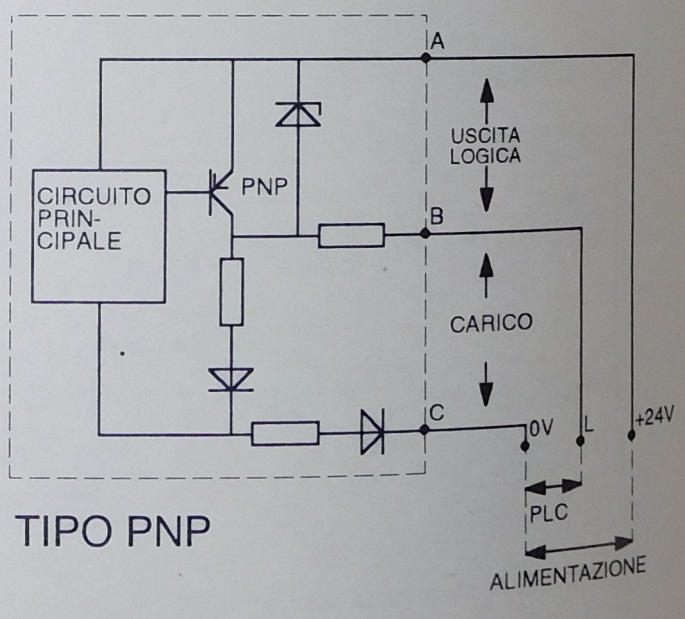


Fig. 6.16 - Esempio di sensore con uscita in corrente continua tipo NPN e PNP, a tre fili con collettore incorporato.

Azionamento senza contatto meccanico	Elevata frequenza di commutazione
Eliminazione dei guasti meccanici dovuta all'assenza di parti meccaniche in movimento	Funzionamento in condizioni ambientali gravose
Durata praticamente illimitata	Dispositivo di commutazione senza rimbalzi, assenza di impulsi errati
Completamente elettronico	Eliminazione dei fenomeni di ossidazione e scintillio dei contatti
Assenza di manutenzione	

Anche questi sensori possono avere un'uscita di tipo PNP o NPN, di ciò occorre tenere conto quando si effettuano i collegamenti, poichè la posizione del carico si scambia rispetto all'uscita logica (vedi fig. 6.16).

Qualora il sensore sia fotoelettrico e alimentato in DC, è a volte possibile, invertendo le polarità dell'alimentazione del sensore, modificarne il funzionamento:

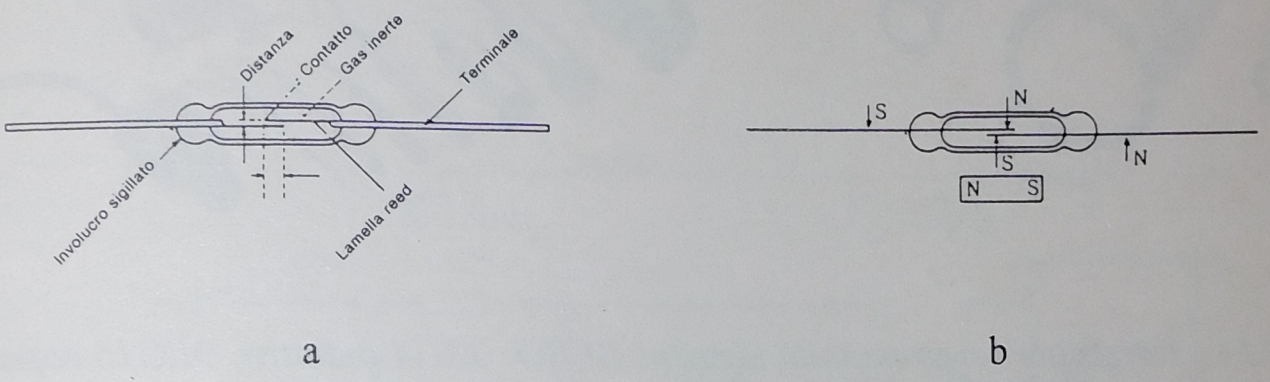
"impulso buio": il segnale di uscita è dato quando il fascio luminoso viene interrotto;

"impulso luce": il segnale di uscita è dato quando il fascio luminoso è incidente sul ricevitore.

I sensori magnetici impiegano contatti reed azionabili da un campo magnetico esterno, prodotto, per esempio, da un magnete permanente (unità magnetica).

Un contatto reed è costituito da due lamine realizzate in materiale ferromagnetico (Ferro-Nichel) a bassa riluttanza, racchiuse in un bulbo di vetro contenente un gas inerte.

Sottoposte ad un campo magnetico, queste si flettono l'una contro l'altra per effetto dell'induzione magnetica; in tal modo si realizza un contatto elettrico.



a b

Fig. 6.17 - Sensori magnetici: a) Caratteristiche costruttive dei contatti reed - b) Funzionamento dei contatti reed.

Le principali funzioni ottenibili da questi sensori sono la funzione NO e NC. Nella funzione NO il contatto è normalmente aperto quando il magnete di azionamento è ad una distanza tale da non riuscire ad influenzarlo, si chiude quando il magnete si avvicina al punto da polarizzarlo; nella funzione NC il contatto risulta già chiuso, l'avvicinarsi del magnete determina l'annullamento del campo magnetico che tiene chiuse le lamine, provocando l'apertura del contatto.

Esistono infine la funzione di scambio e la funzione bistabile, la prima contiene sia la funzione NO che quella NC per cui all'avvicinarsi o all'allontanarsi del magnete di azionamento, il contatto commuta dalla condizione di riposo a quella di lavoro e viceversa; la seconda apre o chiude un contatto premagnetizzato all'avvicinarsi del magnete, in particolare se le polarità sono concordi il contatto si chiude e rimane chiuso anche se il magnete viene allontanato, sarà possibile riaprirlo avvicinando il magnete con polarità discordi.

I sensori magnetici, rispetto ai finecorsa meccanici, offrono i seguenti vantaggi: protezione del contatto dalla polvere o dall'umidità, semplicità di azionamento, elevata frequenza di commutazione, elevata vita del contatto, assenza di manutenzione e ridotto ingombro.

La vita utile dei sensori magnetici è influenzata dalle caratteristiche del carico, occorre prevedere le adeguate protezioni (gruppo RC, diodi, varistori).

Un'applicazione tipica di questi sensori è l'individuazione della posizione del pistone, che contiene un magnete permanente, nei cilindri pneumatici.



Fig. 6.18 - Esempio di cilindro pneumatico e relativo sensore magnetico (Camozzi).

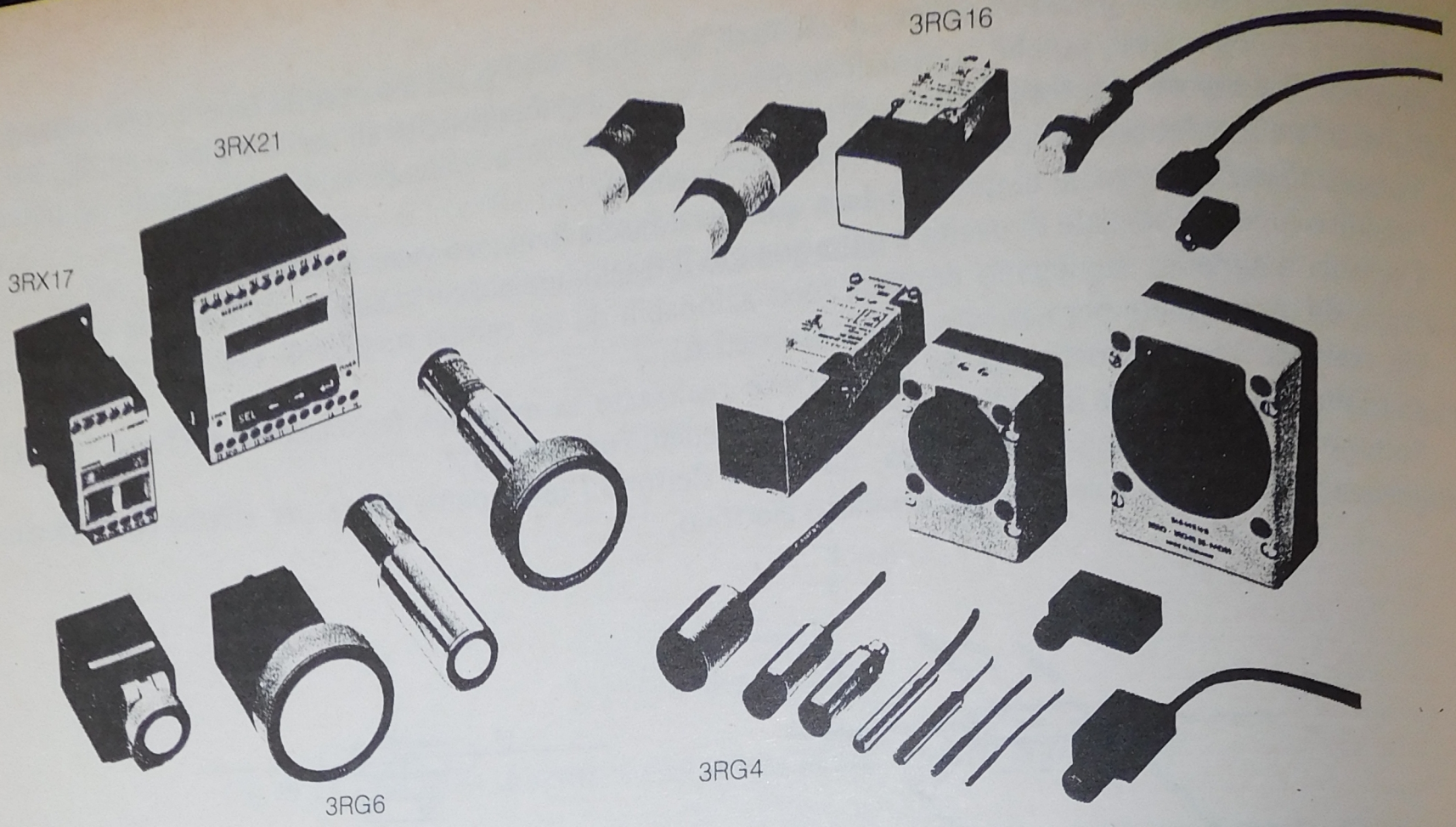


Fig. 6.19 - Interruttori di prossimità Siemens BERO: 3RG4 induttivi, 3RG16 capacitivi e ad ultrasuoni BERO SONAR 3RG6 con le unità di controllo 3RX17 e 3RX21.

6.3 - CIRCUITI DI INGRESSO DIGITALI

I segnali che trattano i circuiti di ingresso digitali possono essere, in relazione al tipo di alimentazione dei sensori, in corrente continua (a loro volta suddivisi nei tipi NPN, PNP, PNP-NPN a seconda della polarità nei collegamenti con l'esterno) o in corrente alternata.

In entrambe le categorie troviamo schede che funzionano a valori di tensione differenti.

ESEMPI DI DISPOSITIVI DI INGRESSO
SELETTORI
PULSANTI
SENSORI DI LIVELLO
INTERRUTTORI MAGNETICI
INTERRUTTORI FOTOELETTRICI
INTERRUTTORI DI PROSSIMITA`
FINECORSA
CONTATTI DI RELE`
CONTATTI DI CONTATTORI
PRESELETTORI

TENSIONE DI INGRESSO	TIPO DI CORRENTE	
	DC	AC
5	SI	-
5-24	SI	-
12-24	SI	-
24	SI	SI
24-60	SI	-
48	SI	SI
115	SI	SI
230	-	SI

Tab. 6.2 - Dispositivi di ingresso e valori di tensione dei circuiti di ingresso digitali.

In genere queste schede adattano i valori di tensione della logica interna del PLC che opera a 5 V con valori di tensione diversi, come 24, 60 V in corrente continua e 115, 230 V in corrente alternata, dei circuiti esterni.

I circuiti di ingresso possono essere localizzati con l'unità centrale in un unico contenitore oppure andare a costituire unità a sè stanti, collegabili con l'unità centrale mediante il BUS di comunicazione I/O.

In genere si ha un numero di ingressi pari o multiplo di 2 (2, 4, 8, 12, 16, 32 per scheda), si parla allora di modularità, che consente di ampliare con incrementi successivi secondo le necessità la sezione I/O del controllore.

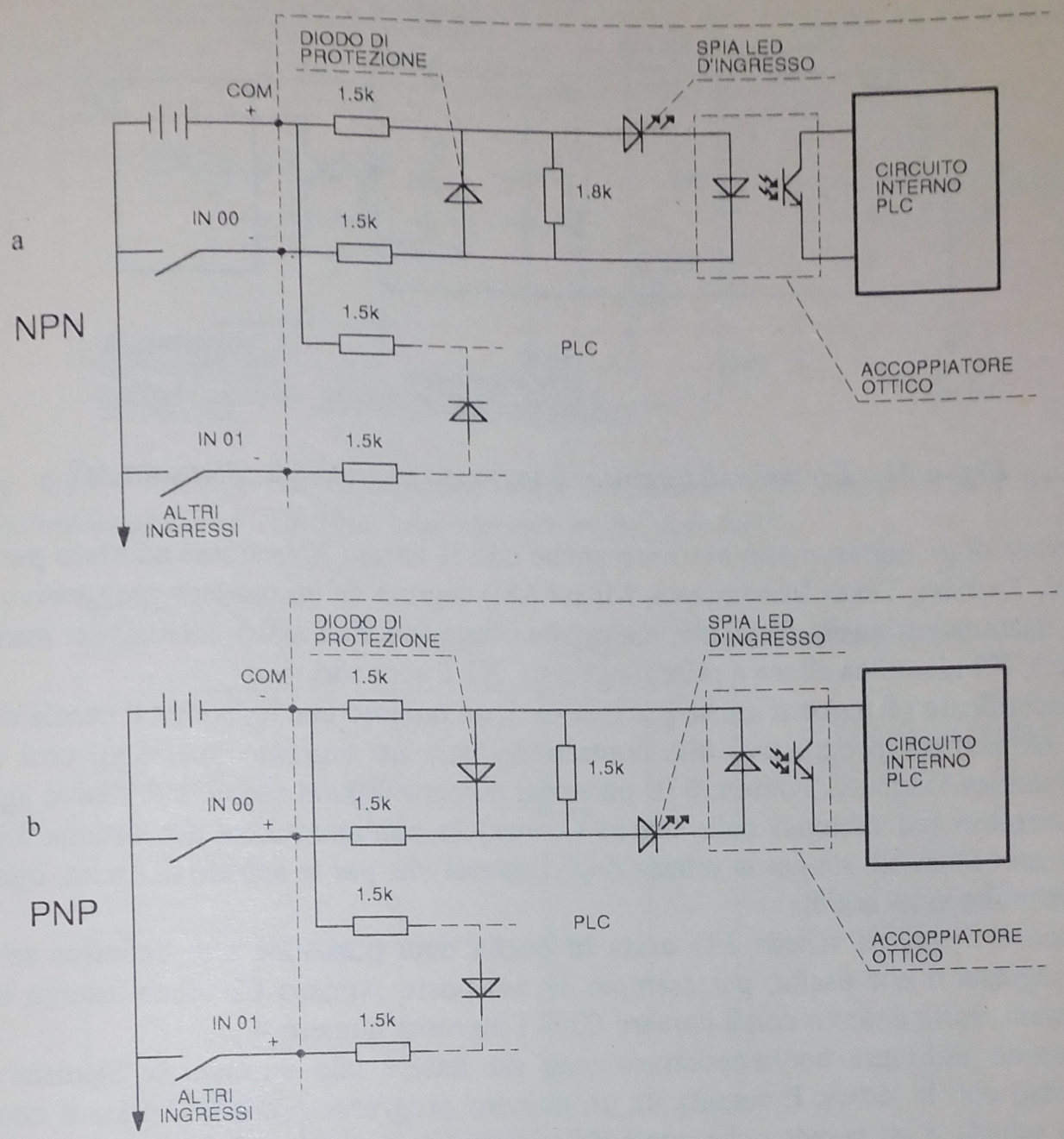


Fig. 6.20 - Esempio di circuito di ingresso in corrente continua: a) Tipo NPN 24 V DC - b) Tipo PNP 24 V DC.

Un altro particolare importante da considerare è quello relativo all'alimentazione degli ingressi, che possono avere un alimentatore interno al PLC (ciò determina un numero limitato di ingressi compatibilmente con le caratteristiche dell'alimentatore) oppure un alimentatore esterno, soluzione questa che in genere è preferita.

Il riconoscimento degli ingressi avviene solitamente assegnando ad ognuno di essi un particolare numero che è unico per tutto il controllore.

Si possono distinguere gli ingressi dalle uscite per esempio fissando da 00 a 39 gli ingressi e da 40 a 79 le uscite, così l'indirizzo 12 è sicuramente relativo ad un ingresso, mentre l'indirizzo 52 sarà relativo ad un'uscita.

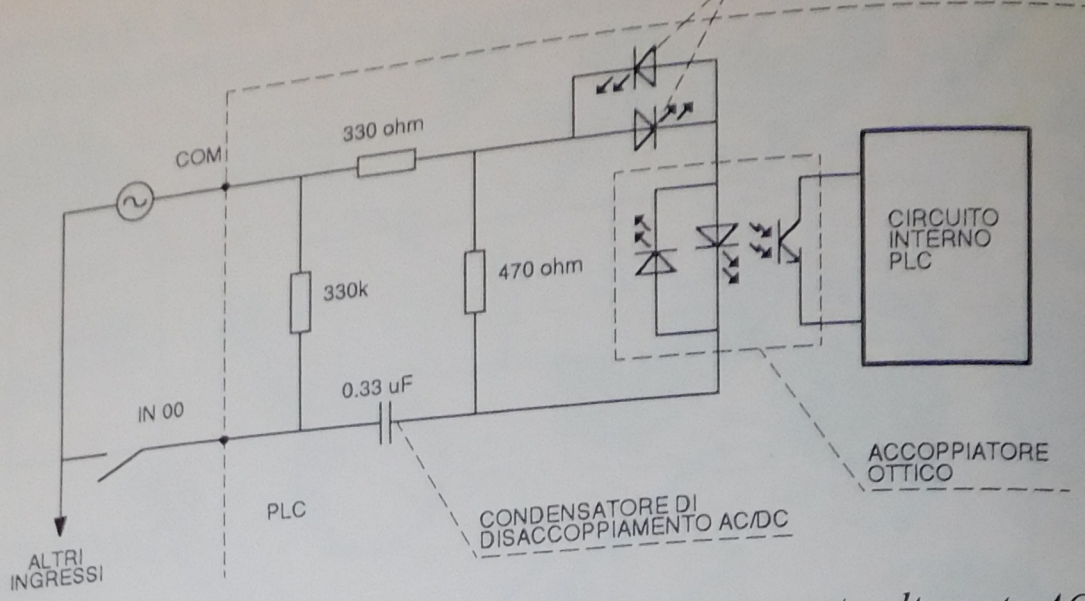


Fig. 6.21 - Esempio di circuito di ingresso in corrente alternata AC.

L'identificazione di un ingresso può avvenire anche con la lettera X (sistema adottato per esempio dalle marche National, Toshiba, Texas Instruments, Mitsubishi) seguita da un numero progressivo, in alcuni casi la numerazione usata non è quella decimale, ma quella ottale (nel qual caso, attenzione: mancano i numeri 8, 9, 18, 19, ecc.), X0 identifica allora il primo ingresso, X1 il secondo, ecc..

Si possono identificare gli ingressi anche per mezzo di un numero che individua il canale di ingresso, per esempio 00, e un numero progressivo che contraddistingue un ingresso specifico; così ad esempio il numero 0005 identifica l'ingresso numero 6 (si parte dal numero 00) del canale 00 relativo agli ingressi.

In alcuni controllori (ad esempio della marca Omron) la configurazione del sistema è tale che sono disponibili dei posti utilizzabili sia per le schede degli ingressi che per le schede di uscita, ogni posto ha un particolare numero che lo identifica.

In questo caso è il tipo di scheda I/O usata in quella data posizione che definisce se quel numero appartiene agli ingressi o alle uscite, per esempio se nel posto numero 02 viene inserita una scheda di ingresso con 4 punti, verrà definito con il numero 0203 l'ingresso numero 4.

Infine si possono utilizzare contemporaneamente sia lettere che numeri: la Siemens per esempio identifica l'ingresso con la lettera E seguita da un numero progressivo che individua il connettore dove viene inserita la scheda e un numero che contraddistingue un particolare ingresso di quella scheda, per esempio E1.3 individua l'ingresso numero 4 della scheda posta nel connettore numero 1.

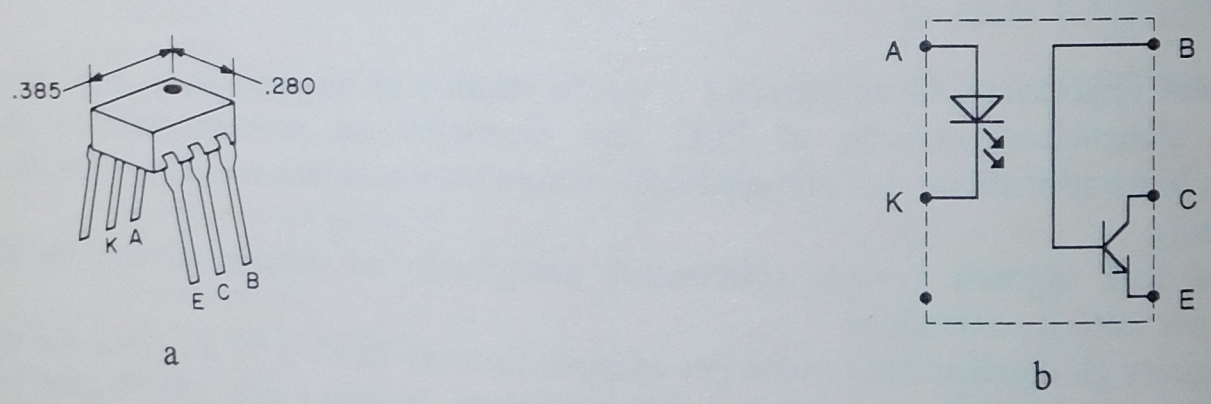


Fig. 6.22 - Esempio di fotoaccoppiatore: a) Contenitore - b) Schema elettrico.

Mentre non si pongono problemi per i collegamenti ad apparecchiature con contatti elettromeccanici, in quanto non polarizzati, particolare attenzione richiedono invece i sensori induttivi, capacitivi, ultrasonici e le fotocellule aventi un'uscita statica, (transistor, SCR, TRIAC) dato che necessitano di collegamenti omologhi, ad esempio i sensori con uscita di tipo NPN potranno essere collegati solo ad ingressi di PLC tipo NPN. Si vedano gli esempi seguenti.

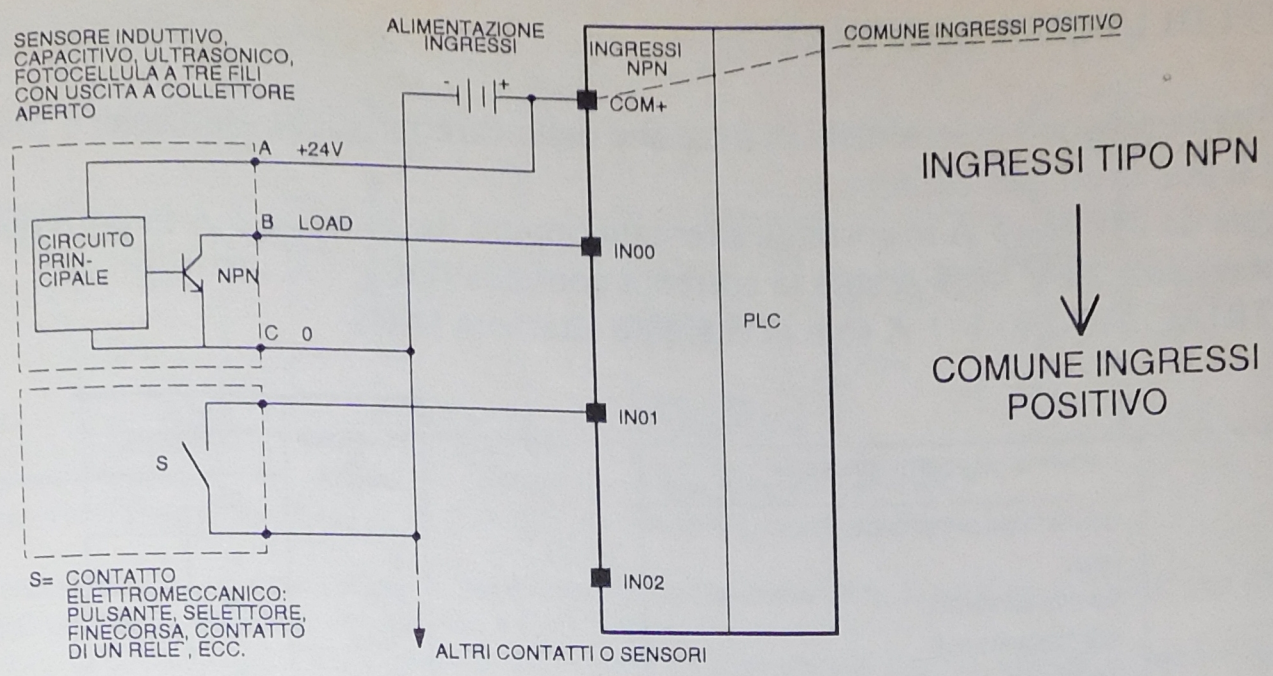


Fig. 6.23 - Esempio di collegamento tra un sensore con uscita NPN e un contatto elettromeccanico con un PLC con ingressi in DC tipo NPN.

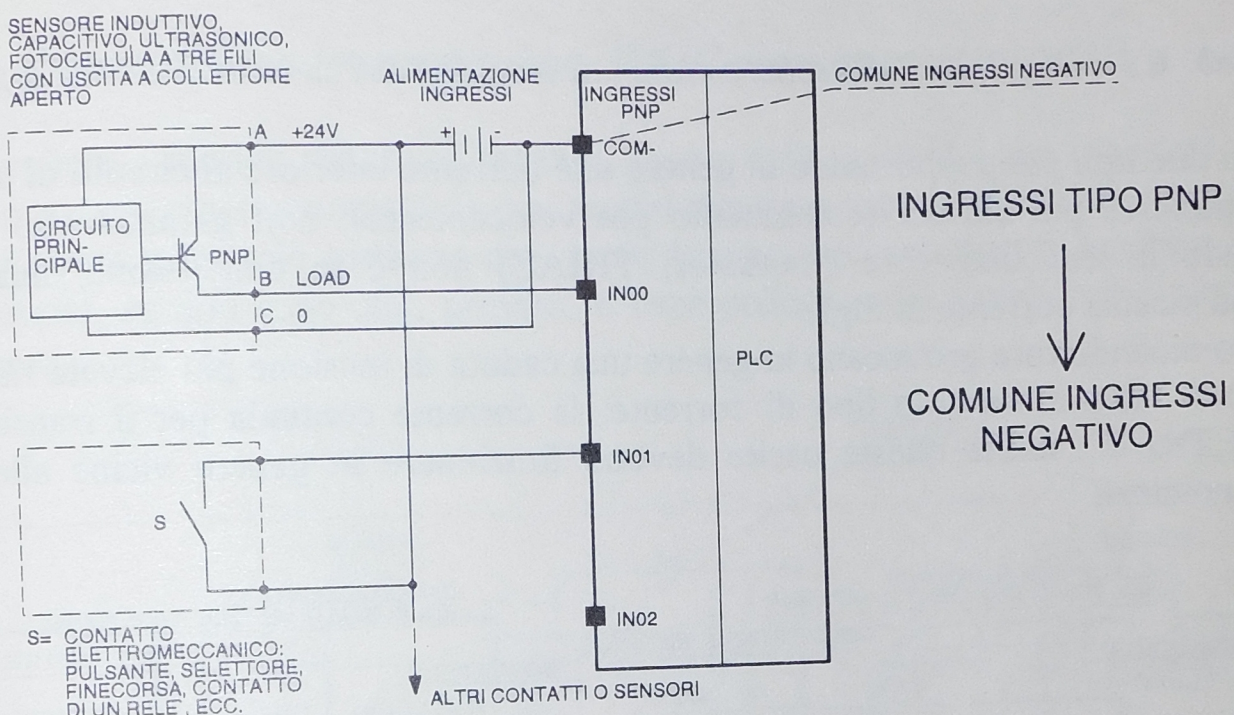


Fig. 6.24 - Esempio di collegamento tra un sensore con uscita PNP e un contatto elettromeccanico con un PLC con ingressi in DC tipo PNP.

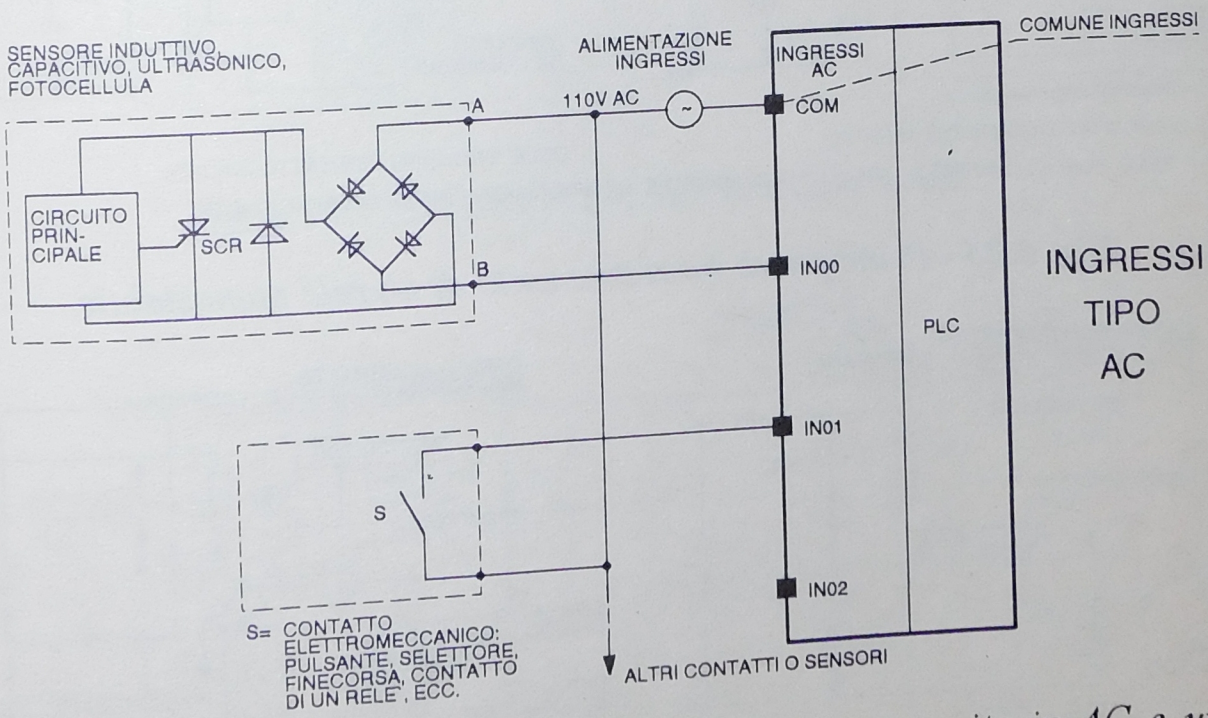


Fig. 6.25 - Esempio di collegamento tra un sensore con uscita in AC e un contatto elettromeccanico con un PLC con ingressi in AC.