

# UN "LOGICO" INSCATOLAMENTO

M. CAVACECE, G. FIGLIOLINI e M. MORETTI

UN SISTEMA  
DI COMANDO  
PNEUMATICO  
A LOGICA CABLATA  
PER UNA INSCATOLATRICE  
AUTOMATICA DI BARATTOLI

**N**ell'automatizzazione di un processo discontinuo, tipico dell'industria manifatturiera, si utilizzano preferibilmente sistemi ad eventi in cui parte di potenza e parte di comando sono interconnesse ad anello chiuso. In tal caso non si garantisce il tempo ciclo, ma si ha il vantaggio di verificare continuamente l'esecuzione degli ordini.

La parte di potenza di una macchina automatica destinata ad operazioni di imballaggio nell'industria manifatturiera, è in genere sviluppata con tecnologia pneumatica in ambiente digitale. La relativa parte di comando è in genere costituita da un sistema programmabile o da un sistema a logica cablata. Per tale macchina la scelta risulta basata essenzialmente su criteri funzionali ed economici. L'aspetto funzionale è legato al numero dei segnali da gestire, alla complessità dell'elaborazione degli stessi ed alle prestazioni dell'apparecchiatura, ossia tempo di risposta, resistenza alle vibrazioni e resistenza al calore. L'aspetto economico è invece legato al costo di progettazione, di installazione e manutenzione dell'impianto.

Il comando programmabile, capace di gestire ed elaborare un gran numero di segnali, ma più costoso e meno resistente alle

sollecitazioni termomeccaniche, viene di solito preferito dalla grossa azienda impegnata ad adeguarsi in tempo reale ai continui mutamenti imposti dal mercato. Esiste però anche una realtà manifatturiera meno dinamica in cui è preferito il comando a logica cablata. Esso del resto risulta l'optimum in quelle applicazioni dove le sollecitazioni termomeccaniche diventano predominanti sulla flessibilità conferita dai sistemi programmabili.

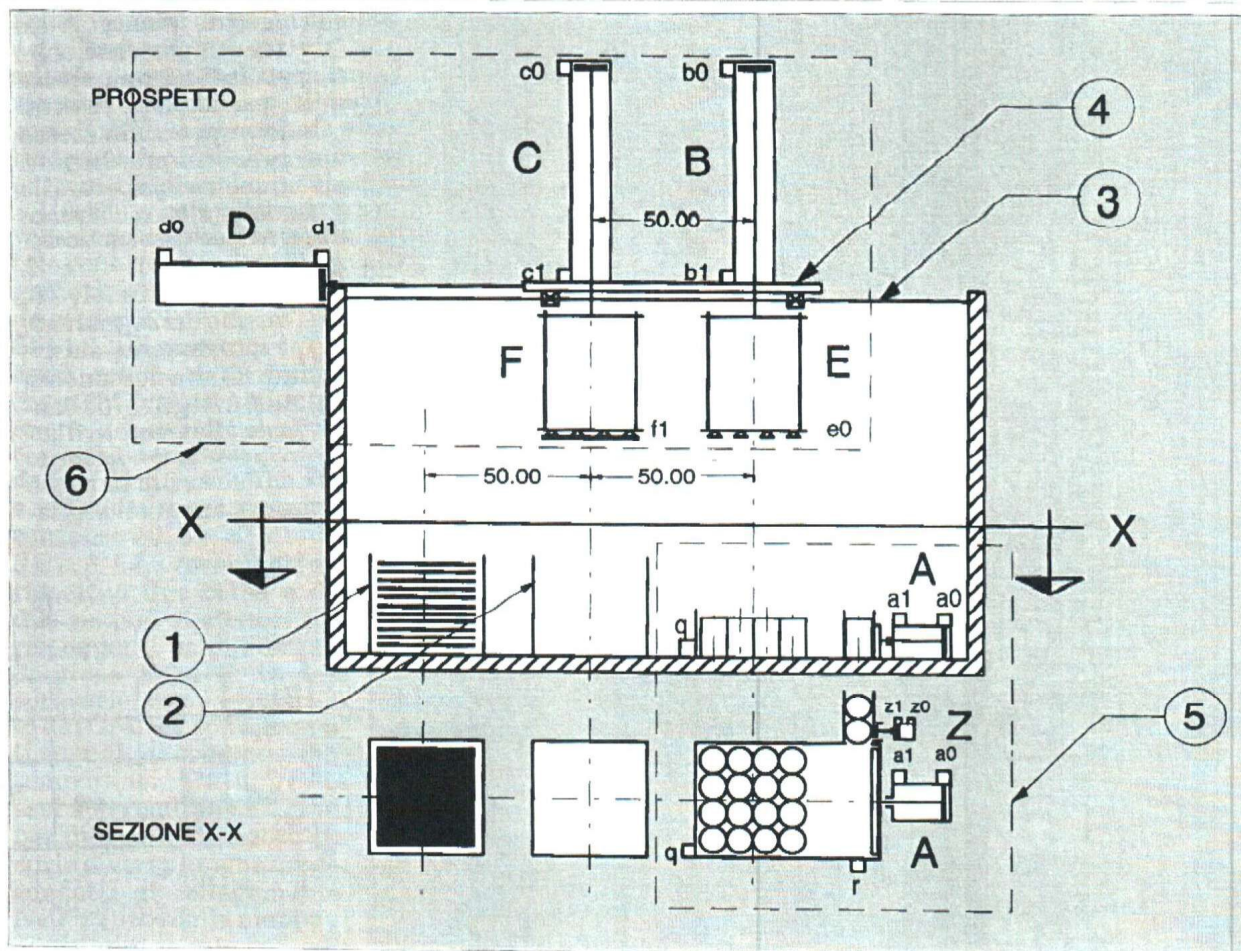
Si è quindi sviluppato il progetto del sistema di comando a logica cablata per una macchina di inscatolamento (figura 1), usufruendo del metodo delle mappe di Karnaugh. Calandosi infatti nella realtà binaria è possibile esprimere le fasi di un ciclo automatico tramite funzioni logiche. Tale metodo consente non solo di rappresentare una funzione booleana, ma eventualmente anche di semplificarla. Questo aspetto risulta di fondamentale importanza in quanto permette di minimizzare i componenti pneumologici e quindi di minimizzare il costo complessivo dell'apparecchiatura di comando.

## **MACCHINA PER INSCATOLAMENTO AUTOMATICO**

Lo studio della parte di comando di un sistema automatico è strettamente connesso alla conoscenza della parte di potenza del sistema stesso. Si è pertanto ritenuto utile riportare una succinta descrizione della macchina in esame, onde meglio capire le scelte effettuate per il relativo sistema di comando a logica cablata. La macchina in esame (figura 1) risulta inserita in una stazione di imballaggio e si sviluppa in

Ingg. Massimo Cavacece,  
Giorgio Figliolini e Marcello Moretti,  
Dipartimento di Ingegneria Industriale,  
Università di Cassino.





1. Schema della macchina allo stato iniziale.

verticale su due piani orizzontali. Sul piano inferiore sono posizionate due scatole, una sempre fissa (1) destinata a contenere fogli di cartone separatore, una immobile (2) fino al completo riempimento con barattoli distribuiti in vari strati e poi rimossa verso valle con un nastro trasportatore, per le ulteriori operazioni di imballaggio. Su tale piano è presente inoltre un sistema di alimentazione, destinato alla preparazione di un gruppo di 16 barattoli disposti secondo un quadrato. Il piano superiore della macchina risulta invece individuato da 2 aste cilindriche (3) inbullonate alle estremità con il telaio, su cui scorre il carrello (4) tramite 4 ruote a sezione trapezia. La macchina consta quindi di due gruppi funzionali, di un sistema di alimentazione (5) ed un sistema di movimentazione (6). Il primo diretto alla preparazione del pianale di 16 barattoli,

presenta 2 attuatori A e Z, con 4 rispettivi fine corsa  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $z_0$ ,  $z_1$ , e 2 sensori di presenza pezzi  $q$  ed  $r$ . Il secondo gruppo funzionale, diretto al trasporto ed al posizionamento dei 16 barattoli e dei fogli di cartone nell'apposite scatole, presenta 3 attuatori C, B e D, con 6 rispettivi fine corsa  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $d_0$ ,  $d_1$ , nonché 2 organi di presa E ed F muniti dei relativi sensori e ed  $f$ .

### SINTESI DEL SISTEMA DI COMANDO

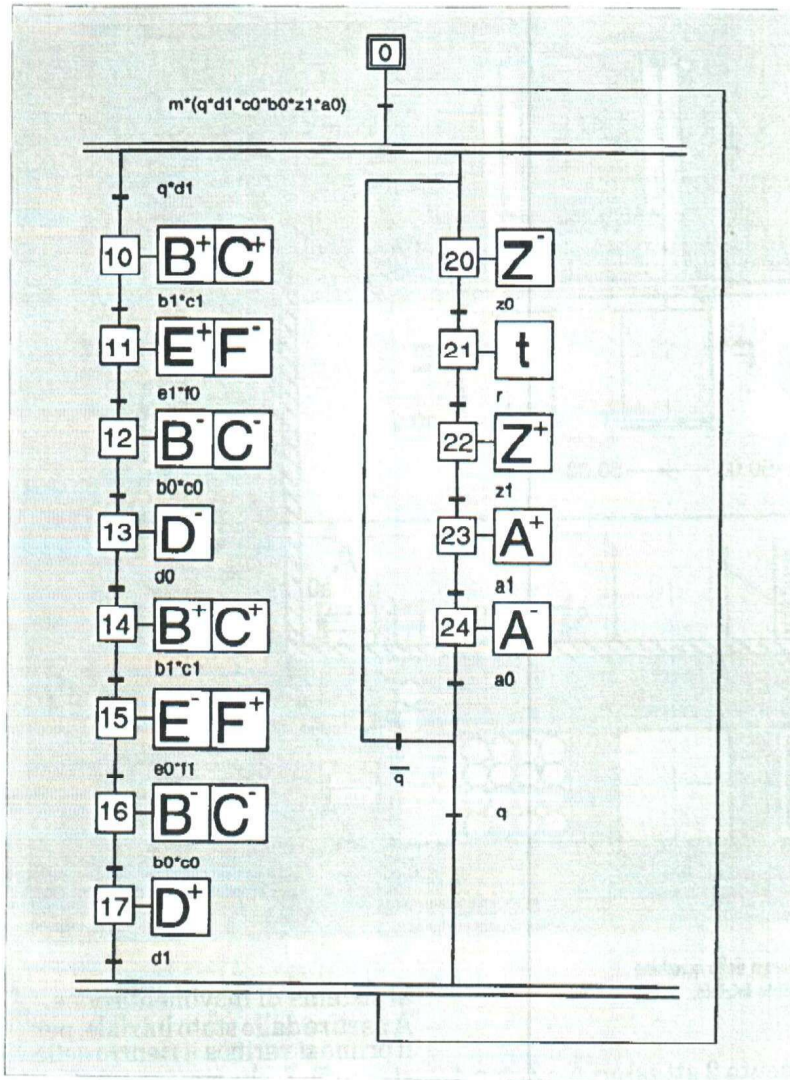
La sintesi del sistema di comando è stata effettuata con riferimento al ciclo di lavoro della macchina descritto nel relativo Grafset (figura 2), in cui sono evidenziati due sottocicli in parallelo rispettivamente relativi al sistema di alimentazione ed

al sistema di movimentazione. A partire dallo stato iniziale, per il primo si verifica il rientro dello stantuffo Z, che rimane tale fino alla presenza del segnale  $r$ , quindi la fuoriuscita di Z e di conseguenza la fuoriuscita ed il rientro di A, posizionando così una prima fila di 4 barattoli sul pianale di prelievo.

Ripetendo pertanto le suddette operazioni per 4 volte consecutive si completa la formazione del gruppo di 16 barattoli, segnalata al sistema di comando dal sensore  $q$ .

Per il sottociclo relativo al sistema di movimentazione si verifica, invece, la fuoriuscita contemporanea di B e C, da cui, tramite i rispettivi organi di presa F ed E, il deposito del foglio di cartone separatore ed il prelievo dei 16 barattoli, quindi il rientro di B e C con il conseguente rientro di D. Gli stantuffi B e C fuoriescono nuovamente, onde prele-

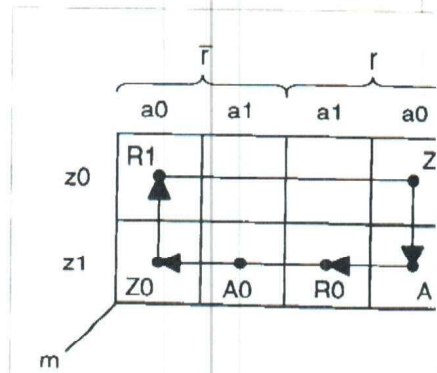




2. Grafet funzionale.

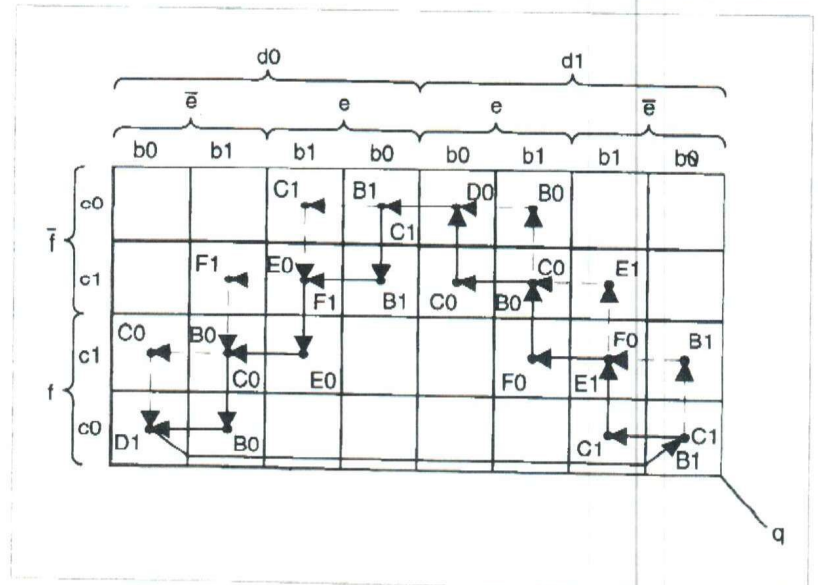
vare l'altro foglio e depositare un primo strato di barattoli, quindi rientrano entrambi con la conseguente fuoriuscita di D, fino alla posizione di inizio ciclo. Sulla base di quanto specificato nel Grafet, si è applicato il metodo delle mappe di Karnaugh per i due sottocicli relativi rispettivamente al sistema di alimentazione ed al sistema di movimentazione. Tale metodo consiste in una rappresentazione grafica in forma di matrice di tutte le possibili combinazioni di valori delle variabili, permettendo quindi di visualizzare la situazione del

sistema in ogni istante. A tal fine, si è tenuto presente che i valori spettanti ad una stessa variabile, quando sono ripetuti nella stessa riga o nella stessa colonna, sono sempre disposti in modo simmetrico rispetto alla mezzieria della riga o colonna. Nel primo sottociclo si sono dovuti gestire i cilindri A e Z, tramite i comandi A0, A1, Z0, Z1 e con l'ausilio dei segnali a0, a1, z1, r, r provenienti dai rispettivi fine corsa e del sensore r. Ordinando i segnali di consenso attorno alla mappa (figura 3), si è riportato il sottociclo a partire dalla casella in basso a sinistra dove appare il segna-

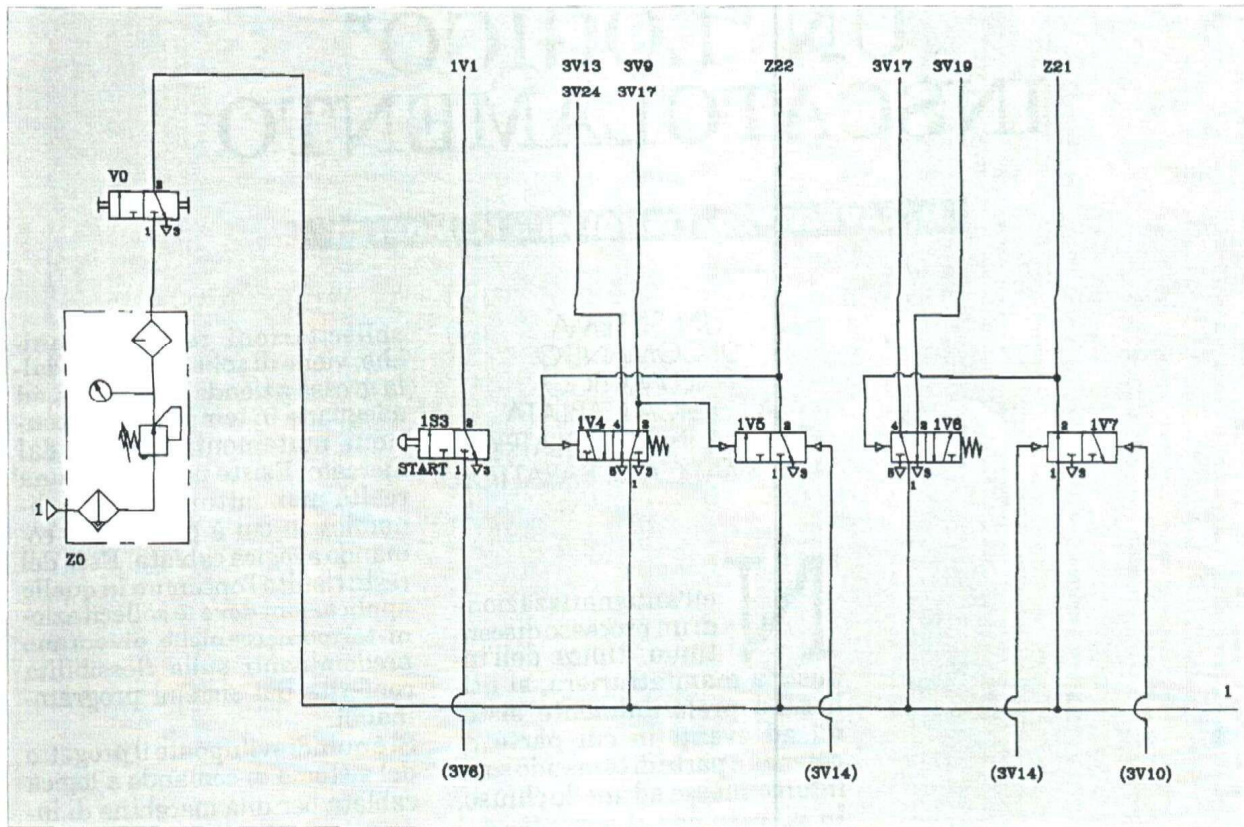


3. Mappa di Karnaugh per il sistema di alimentazione.

4. Mappa di Karnaugh relativa al sistema di movimentazione.





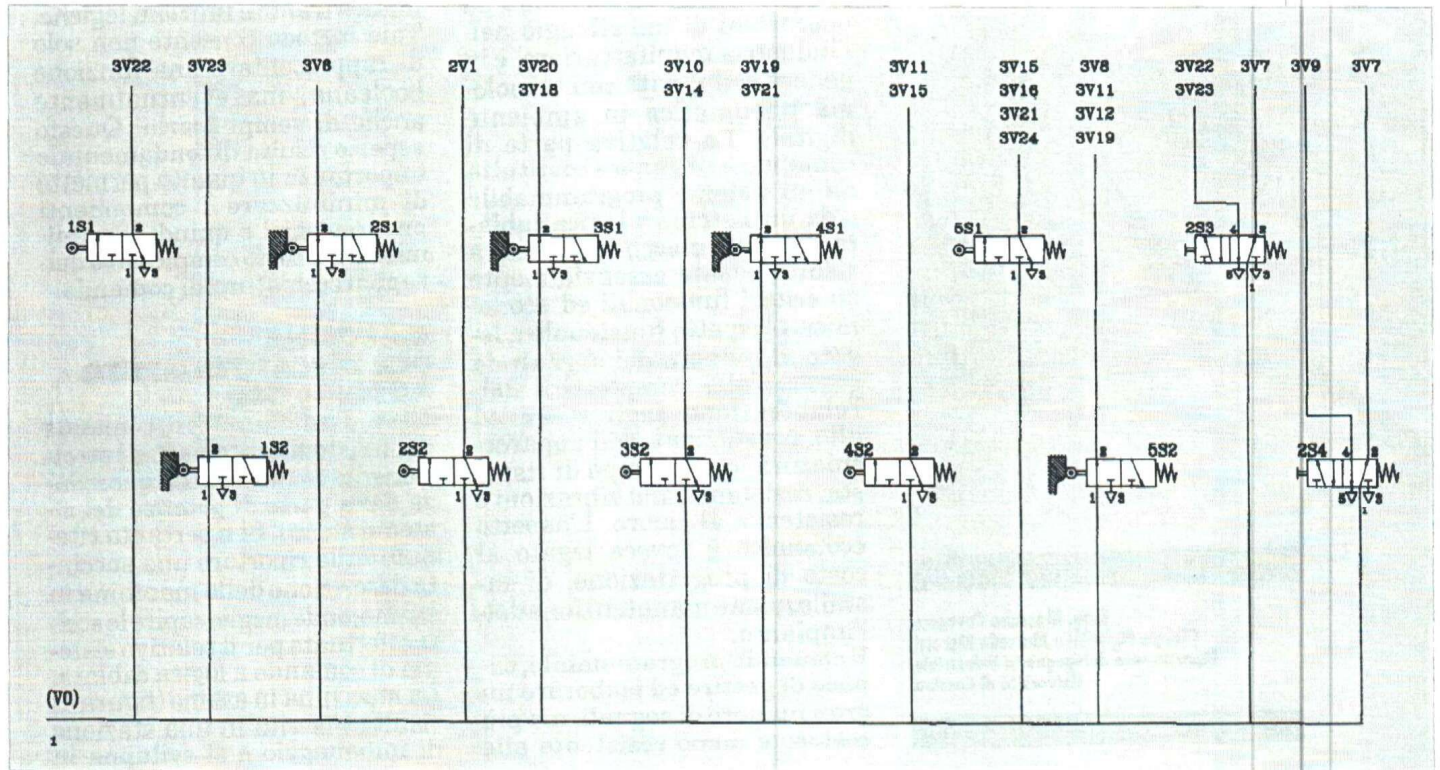


le di marcia m. Con riferimento al Grafcet, si è individuato il primo comando Z0 che conduce ad una seconda casella, da cui,

in seguito all'attivazione R1 del sensore r, si è arrivati ad una terza casella, quindi, in seguito alla commutazione da Z0 in Z1

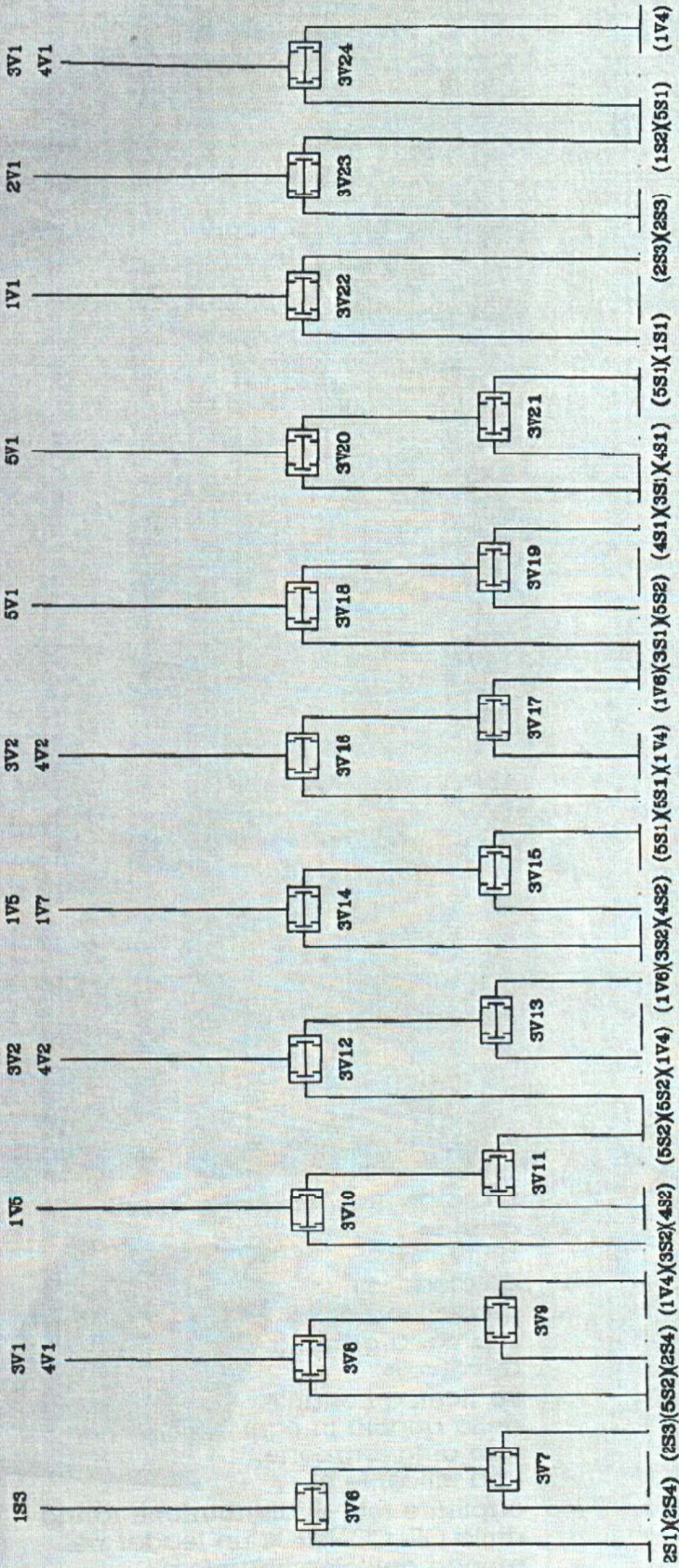
5. Circuito pneumatico della macchina , parte 1.

5. Circuito pneumatico della macchina , parte 2.

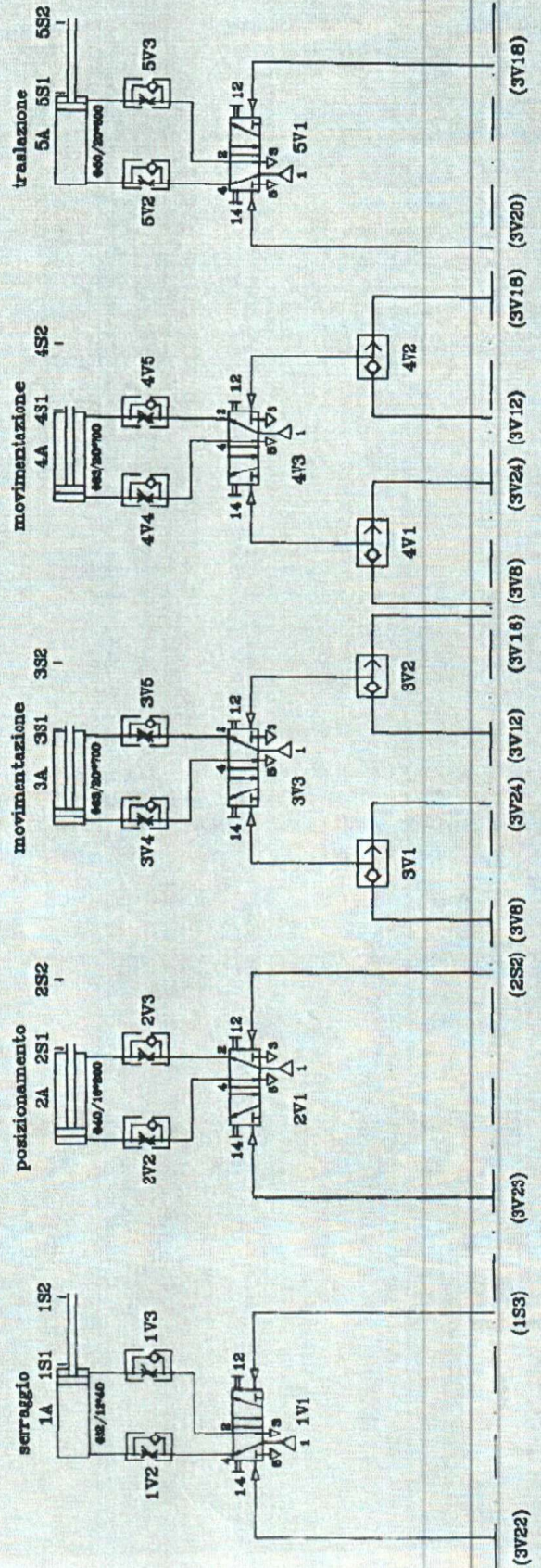




5. Circuito pneumatico della macchina, parte 3.



5. Circuito pneumatico della macchina, parte 4.





della valvola di comando del cilindro Z, si è arrivati ad una quarta casella, e così via fino a ritornare nella posizione di inizio ciclo.

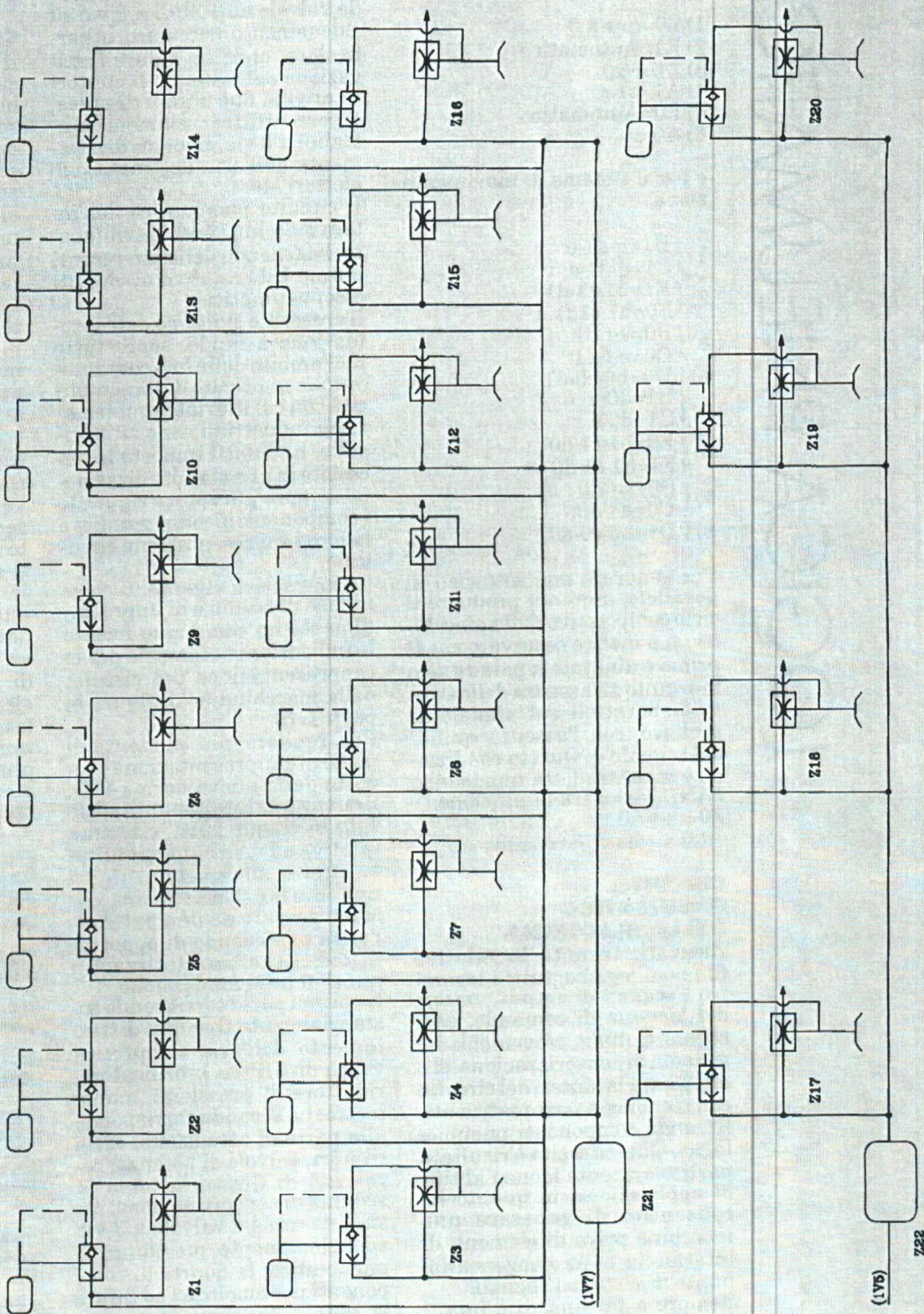
Il segnale di consenso q rappresenta la fine del primo sottociclo, che opera per 4 volte consecutive. Pertanto tale consenso diventa il segnale di inizio per il secondo sottociclo.

Si è quindi costruita la seconda mappa di Karnaugh (figura 4) relativa alla gestione dei cilindri B, C, D, tramite i segnali di comando B0, B1, C0, C1, D0, D1, e con l'ausilio dei segnali di consenso b0, b1, c0, c1, d0, d1, e, e, f, f, provenienti dai rispettivi fine corsa e dai due sistemi di eiettori corrispondenti ai due organi di presa E ed F. In tale sottociclo, come evidenziato dal Grafcet, sono presenti segnali di comando contemporanei, ma in realtà essi non risultano mai tali, per una serie di motivi tra cui la diversa lunghezza dei condotti di collegamento. Nell'utilizzo della mappa si è pertanto tenuto conto di questa eventualità, esaminando i possibili percorsi e verificando, come di consueto, l'assoluta unicità del comando nelle singole caselle. Qualora infatti quest'ultima condizione non fosse verificata, sarebbe richiesto l'utilizzo di *memorie ausiliarie*.

Dalle mappe di Karnaugh relative ai due sottocicli, si sono ricavate le funzioni booleane corrispondenti ai singoli segnali di comando. Tali funzioni sono state semplificate usufruendo del concetto di *variabile attiva*. Questa fase della sintesi di un sistema di comando a logica cablata risulta fondamentale, in quanto consente di realizzare circuiti molto complessi con un numero ridotto di componenti logici.

Si sono quindi ricavate le seguenti funzioni logiche

5. Circuito pneumatico della macchina, parte 5.





semplificate, rispettivamente per il sistema di alimentazione:

- 1)  $Z0=m \cdot r \cdot a0$
- 2)  $R1=Automatico$
- 3)  $Z1=r \cdot z0$
- 4)  $A1=z1 \cdot r$
- 5)  $R0=Automatico$
- 6)  $A0=r$

e per il sistema di movimentazione:

- 1)  $\begin{cases} B1=q \cdot d1 \cdot e \\ C1=q \cdot d1 \cdot e \end{cases}$
- 2)  $\begin{cases} E1=b1 \cdot c1 \cdot d1 \\ F0=b1 \cdot c1 \cdot d1 \end{cases}$
- 3)  $\begin{cases} B0=e \cdot f \cdot d1 \\ C0=e \cdot f \cdot d1 \end{cases}$
- 4)  $\begin{cases} D0=b0 \cdot c0 \cdot d1 \\ B1=d0 \cdot e \\ C1=d0 \cdot e \end{cases}$
- 5)  $\begin{cases} E0=b1 \cdot c1 \cdot d0 \\ F1=b1 \cdot c1 \cdot d0 \end{cases}$
- 6)  $\begin{cases} B0=e \cdot f \cdot d0 \\ C0=e \cdot f \cdot d0 \end{cases}$
- 7)  $\begin{cases} B0=e \cdot f \cdot d0 \\ C0=e \cdot f \cdot d0 \end{cases}$
- 8)  $\begin{cases} D1=b0 \cdot c0 \cdot d0 \end{cases}$

Per generare due sottocicli in parallelo, e quindi produrre il ciclo complessivo della macchina, si è inoltre osservato che il primo è abilitato a partire solo in seguito all'assenza dello strato di barattoli sul pianale di prelievo, con l'assenza quindi del segnale q. Questa condizione è stata tradotta imponendo l'AND logico tra la funzione:

$$Z0=m \cdot r \cdot a0$$

ed il segnale di consenso q.

## CIRCUITO PNEUMATICO DELLA MACCHINA

Ricavati, tramite le relative funzioni logiche, tutti i legami tra i segnali di output, emessi dal sistema di comando, ed i segnali di input, provenienti dal sistema di sensorizzazione, si è effettuata la sintesi del circuito con tecnologia pneumatica utilizzando componenti pneumologici. Questa scelta è risultata particolarmente idonea al tipo di applicazione, in quanto ha consentito di generare una macchina priva di elementi di interfaccia, ossia omogenea dal punto di vista dei segnali. Sempre a tal fine, si è infatti scelto un sistema di sensoriz-

zazione interamente pneumatico costituito sostanzialmente da valvole unistabili a 3 vie ad azionamento meccanico. In particolare, onde segnalare l'attivazione del sistema di eiettori relativi ai due organi di presa, si sono utilizzati elementi unistabili a 3 vie, azionati direttamente dall'aria destinata agli eiettori stessi.

Il circuito pneumatico dell'intera macchina è stato sviluppato usufruendo delle più recenti norme ISO relative ai circuiti oleopneumatici.

Il crescente sviluppo dell'automazione a fluido, soprattutto nell'ambito della *low cost automation*, motivato dalla semplicità con cui svariate problematiche industriali sono state risolte, ha infatti imposto la necessità di una standardizzazione sempre più spinta riguardo i componenti oleopneumatici e la loro rappresentazione circuitale.

La normativa vigente, tuttora in fase di studio e di approfondimento ha comunque fornito le indicazioni necessarie per la rappresentazione del circuito della macchina (vedi figura 5, parti 1+5).

Per rendere più evidente il modo di rappresentazione preposto dalla nuova norma ISO, il circuito è stato appunto spezzato in cinque parti, ciascuna relativa ad un gruppo circuitale diretto all'espletamento di una data funzione. Risulta possibile passare da una parte all'altra usufruendo di opportuni codici che caratterizzano i punti di interconnessione.

La prima parte corrisponde sostanzialmente al gruppo di trattamento dell'aria compressa, vale a dire filtro, lubrificatore, riduttore di pressione, manometro. La seconda corrisponde alla parte di attuazione, ossia cilindri, valvole di potenza, regolatori di flusso; la terza al sistema di sensorizzazione, ossia fine corsa e valvole a 3 vie ad azionamento meccanico e pneumatico; la quarta ai componenti pneumologici ed infine la quinta corrisponde ai due sistemi di eiettori, ciascuno del

tipo con dispositivo di distacco pezzo.

## CONCLUSIONI

Il metodo di progettazione di sistemi di comando a logica cablata, utilizzato in questo lavoro, risulta di validità generale, nel senso che il circuito logico può essere tradotto usufruendo sia della tecnologia elettrica o elettronica sia della tecnologia pneumatica.

La soluzione pneumatica risulta però particolarmente vantaggiosa, in quanto sicuramente più resistente a sollecitazioni esterne come quelle meccaniche e termiche, ed inoltre rappresenta l'optimum in quegli ambienti in cui dispositivi elettrici creerebbero pericoli di esplosioni. Quindi i sistemi di comando pneumatici sono tutt'altro che obsoleti, e con il presente lavoro si è pertanto voluto operare in tal senso.

Il disegno del circuito secondo le ultime norme ISO evidenzia, inoltre, l'esigenza di una standardizzazione diretta alla creazione di un metodo universale di rapida lettura dei circuiti oleopneumatici e quindi di facile trasferimento delle informazioni. Tale esigenza risulta sempre più sentita grazie al rapido e continuo sviluppo dell'automazione a fluido.

## Bibliografia

- [1] G. BELFORTE: "Circuiti pneumatici per l'automazione", Automazione Integrata, Milano, marzo 1992.
- [2] G. BELFORTE, T. RAPARELLI e M. SORLI: "Modelli di circuiti con attuatori pneumatici", VII Airmeta, Trieste, ottobre 1984.
- [3] D. BOUTEILLE: "Les commandes logiques à fluides et l'automation industrielle", Dunod, Parigi 1970.
- [4] G. CALABRESE: "L'algebra di Boole", 2a edizione, Editoriale Delfino, Milano 1985.
- [5] W. DEPPERT e K. STOLL: "Comandi pneumatici", Tecniche Nuove, Milano 1973.
- [6] G. NATALI e N. AGUZZI: "Comandi automatici, Controlli pneumatici e oleodinamici, i PLC", Ed. Calderini, Bologna 1990.
- [7] Fluid power systems and components - Graphic symbols and circuit diagrams, Part 2 - Circuit diagrams, ISO/DIS 1219-2, 1994.
- [8] G. FIGLIOLINI, G. GARGANO e M. VELARDOCCIA: "Macchina flessibile per inscatolamento automatico", Fluid n. 364, settembre 1994.