

Operazioni logiche e diagrammi funzionali dei circuiti automatici

Strutture dei controlli digitali

Le unità di governo utilizzate nei sistemi automatici digitali operano secondo procedure riconducibili a operazioni dell'algebra logica. La struttura realizzativa del controllo potrà poi avvenire con tecniche diverse, sia di tipo cablato, sia di tipo programmabile.

Controllo di tipo cablato

costruzione di un circuito con componenti di tipo pneumatico/elettromeccanico/elettronico, interconnessi tra loro da tubi o cavi elettrici per trasferire i segnali. Nella realizzazione di circuiti cablati possono essere utilizzate anche valvole pneumatiche usate con funzioni di controllo. In tale caso il loro scopo è la realizzazione di operazioni booleane e non il comando diretto del movimento dei cilindri.

Controllo di tipo programmabile

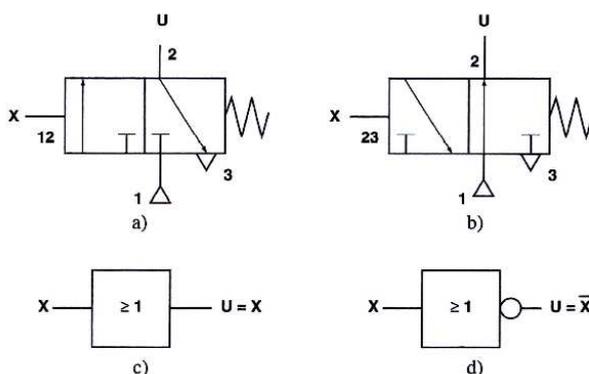
con una unità di memoria in cui risiede un programma per elaborare e generare i segnali di comando per gli attuatori.

Funzionamento logico delle valvole pneumatiche

Le normali valvole pneumatiche a tre e a quattro bocche possono essere utilizzate per svolgere funzioni di tipo logico. In tal caso le valvole (*valvole pneumatiche logiche* o *valvole pneumologiche*) sono usualmente di dimensioni ridotte, con piccole sezioni di passaggio e operano a pressione bassa (2,5-4,0 bar contro i 5,0-10,0 bar della parte di potenza).

Il *funzionamento* può essere sia *attivo*, con collegamento alla linea di alimentazione, che *passivo*, senza collegamenti all'alimentazione e segnali di uscita forniti dai soli segnali di ingresso.

Gli schemi realizzativi delle funzioni base YES (si ha segnale in uscita se è presente il segnale in ingresso $U=X$) e NOT (si ha segnale in uscita se è assente il segnale in ingresso $U=\bar{X}$) sono riportati nella figura sotto, insieme ai simboli logici (UNI ISO 5784/1).



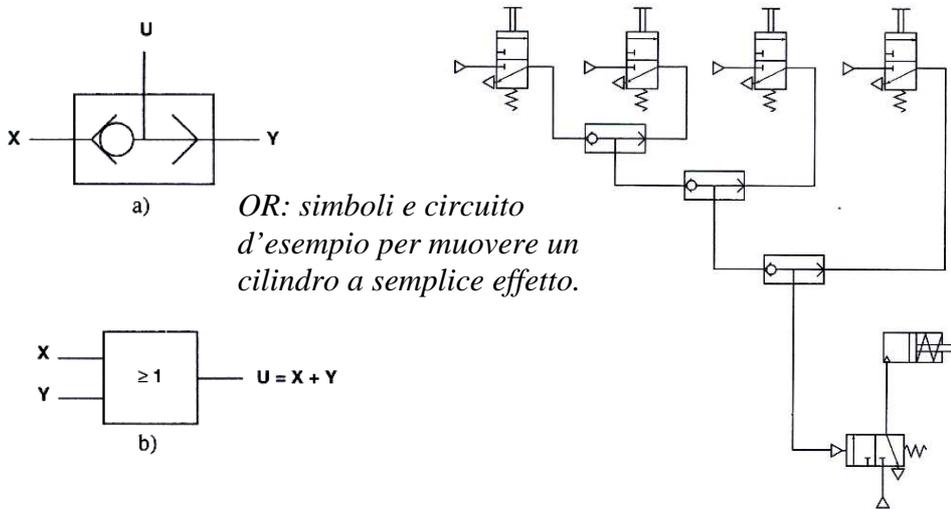
Valvole pneumatiche usate per logica pneumatica

a) valvola YES, simbolo in c)

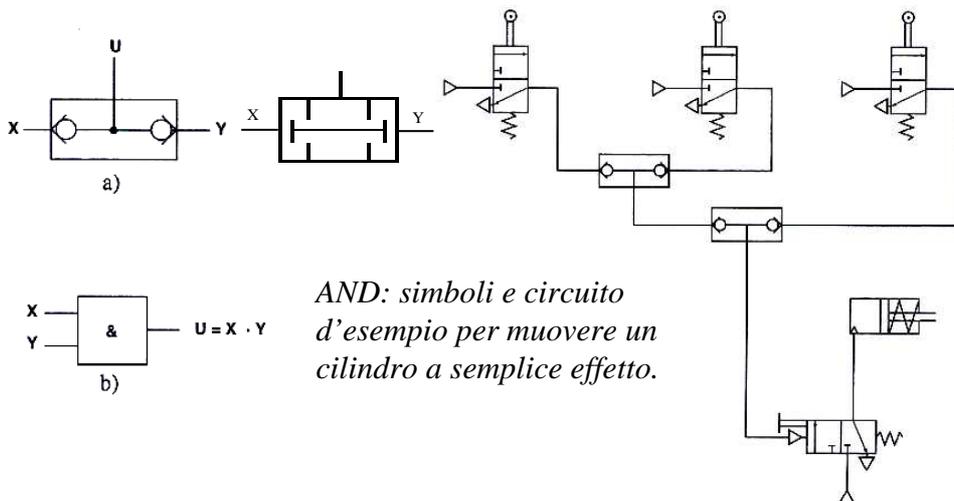
b) valvola NOT, simbolo in d)

Per queste funzioni si usano le valvole a tre bocche, rispettivamente del tipo normalmente chiusa (YES) e normalmente aperta (NOT). L'uso è di tipo attivo. Essendo valvole unistabili lo stato dell'uscita cambia in funzione del fatto che sia applicato o meno il segnale di comando. Le funzioni svolte sono, infatti, di tipo *combinatorio* che dipendono solo dallo stato dei segnali di ingresso.

In figura sotto è riportato il simbolo pneumatico della valvola OR passivo e il relativo simbolo logico, come anche un circuito in grado di realizzare la funzione OR con valvole pneumatiche a tasto (si ha segnale in uscita se è presente almeno un segnale in ingresso $U=X+Y$).



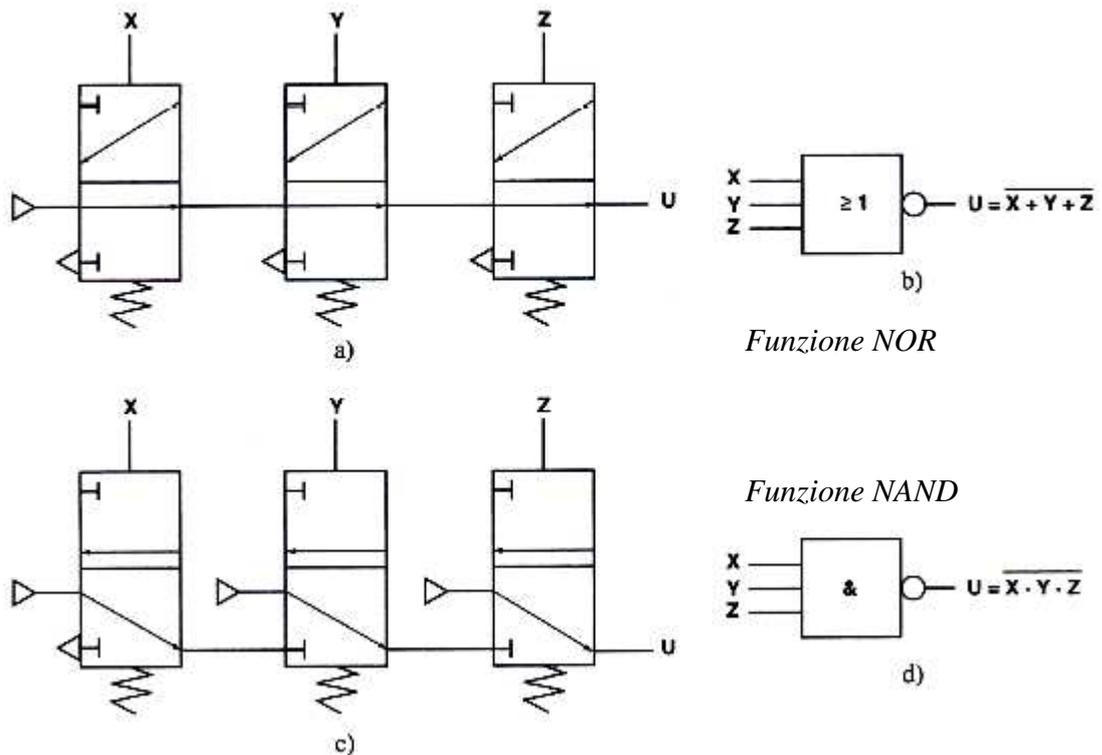
Analogamente, nella figura successiva per la funzione AND usando, per esempio, dei fine corsa (si ha segnale in uscita solo se sono contemporaneamente presenti i segnali in ingresso $U=X \cdot Y$)



Nella figura seguente sono utilizzate valvole pneumatiche per realizzare le funzioni logiche NOR (OR negato) e NAND (AND negato).

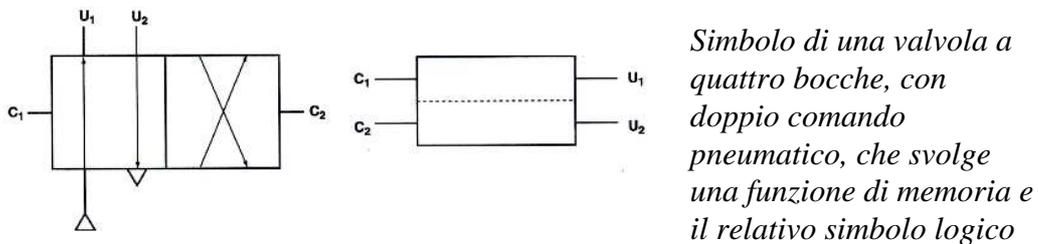
Nel circuito (a) si ha un NOR cioè OR negato (il segnale è assente in uscita se è presente anche un solo segnale in ingresso), il simbolo è in (b).

Nel circuito (c) si ha un NAND cioè AND negato (il segnale è assente in uscita se sono presenti tutti i segnali in ingresso), il simbolo è in (d).



Anche le *funzioni sequenziali* possono essere realizzate con valvole pneumatiche. In queste funzioni lo stato delle uscite dipende sia dallo stato dei comandi applicati, sia dallo stato interno dell'elemento o dal tempo, come le funzioni di memoria e di temporizzazione.

A titolo di esempio nella seguente figura è riportato il simbolo di una valvola a quattro bocche, con doppio comando pneumatico, che svolge una funzione di memoria e il relativo simbolo logico.



Diagrammi funzionali

Il progetto di una macchina automatica richiede la definizione del ciclo da realizzare. Si usano *diagrammi funzionali* come il diagramma movimento-fasi e il grafcet.

Innanzitutto vengono definite le operazioni e i movimenti richiesti, organizzati secondo una successione ordinata, che tiene conto delle necessità del processo e della possibilità di realizzare i movimenti, quindi viene definita una stesura di diagrammi funzionali dei movimenti (diagramma movimento-fasi e/o diagramma grafcet). Poi, si opera la scelta del tipo di attuatori, la definizione degli elementi di comando degli attuatori (unistabili o bistabili) e dei segnali di comando, la revisione e la stesura aggiornata dei diagrammi funzionali, il dimensionamento degli attuatori e la scelta dei sensori, il progetto finale. Tutto questo è rappresentato nello schema successivo:

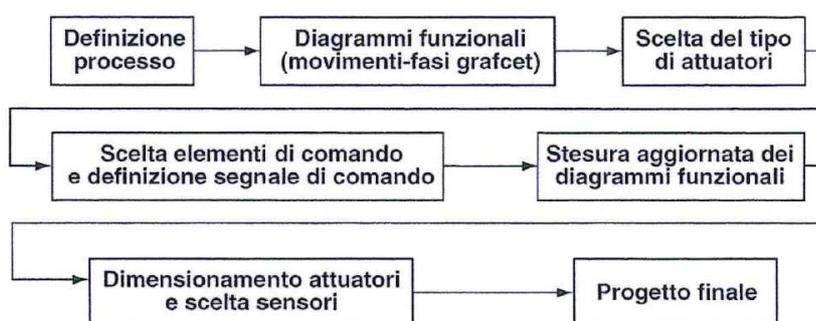
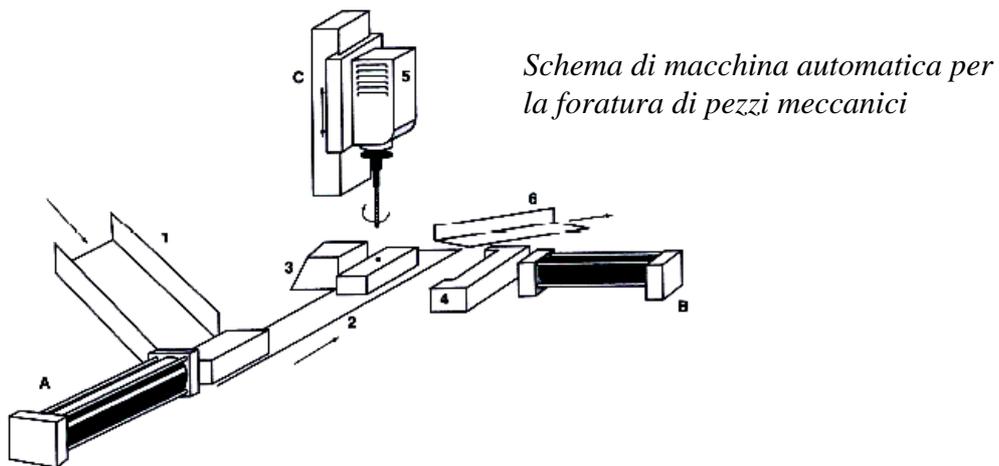


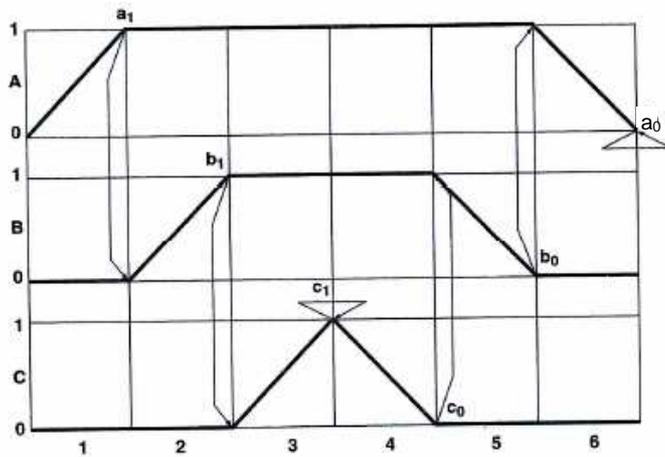
Diagramma movimento-fasi

Il diagramma movimento-fasi è un diagramma funzionale in cui i movimenti dei differenti attuatori sono riportati in funzione delle fasi del ciclo. La struttura di questo diagramma può essere bene illustrata da un esempio.

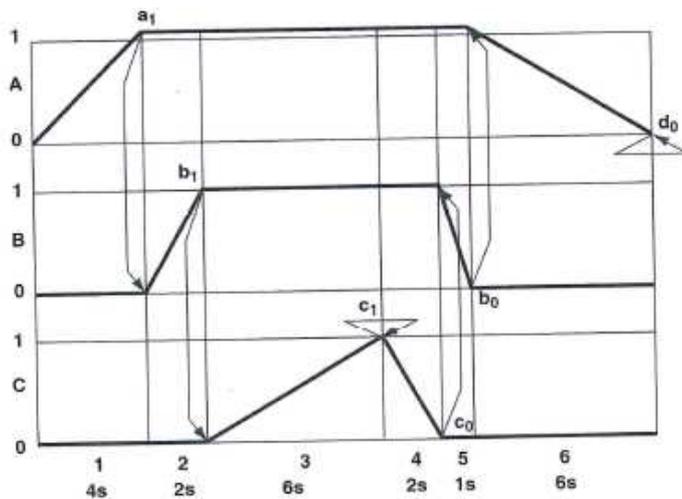
Nella seguente figura si ha lo schema di una macchina automatica per la foratura di pezzi meccanici. I pezzi da forare vengono alimentati tramite uno scivolo 1 e vengono spinti da un cilindro pneumatico A sulla piattaforma di lavoro 2. Una volta che i pezzi sono giunti su tale piattaforma, essi sono bloccati da una morsa a pinza pneumatica: una ganascia fissa 3 e una ganascia mobile 4 azionata dal cilindro pneumatico B. La foratura, oggetto della lavorazione, viene eseguita con una unità di foratura 5, che viene fatta avanzare tramite il cilindro senza stelo C. Data la brevità del ciclo l'unità di foratura è sempre in funzione. L'espulsione dei pezzi dopo la foratura avviene dopo la riapertura della pinza pneumatica, facendo spingere il pezzo lavorato da parte di un nuovo pezzo di arrivo. Il pezzo lavorato viene così inviato su uno scivolo di uscita 6.



Nella figura seguente si vede il diagramma movimento-fasi e movimento-tempi del ciclo realizzato dalla macchina il cui schema è stato descritto pocanzi.



Diagrammi movimento-fasi e movimento-tempi del ciclo di macchina automatica per la foratura di pezzi



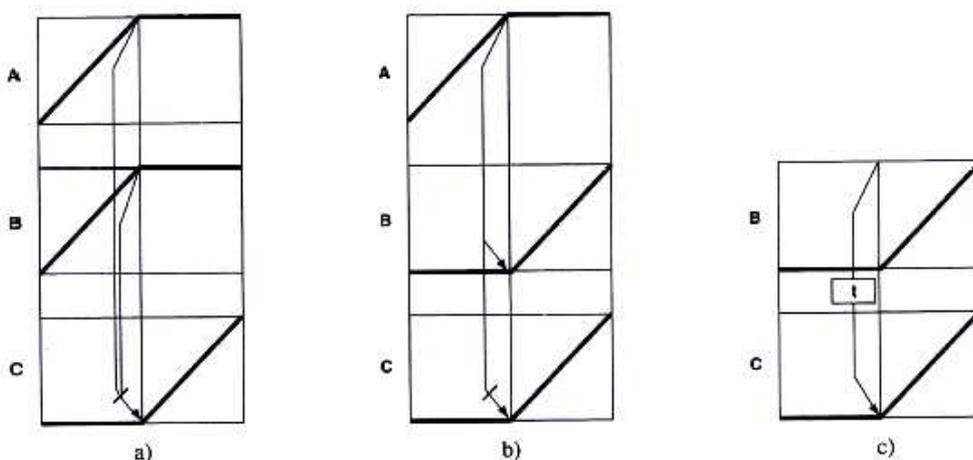
I movimenti dei vari attuatori sono rappresentati su righe successive, parallele, riportate in orizzontale. Esse sono suddivise in ascisse riportando le diverse fasi. Per ognuno degli attuatori A, B e C, la linea inferiore, 0, indica la posizione di riposo a inizio ciclo

(stelo represso, unità di foratura repressa), mentre la posizione 1 indica lo stelo fuoriuscito o l'unità di foratura estratta. L'informazione relativa ai tempi di un ciclo si ha con i diagrammi *movimento-tempo*: le fasi hanno lunghezze proporzionali ai tempi. Un modo alternativo è quello di aggiungere al diagramma movimento-fasi un ulteriore asse di ascissa, con l'indicazione dei tempi.

Nella prima fase del ciclo si muove il cilindro A, che fuoriesce caricando un pezzo da lavorare ed espellendo il pezzo che ha terminato il ciclo. Nella fase 2 viene bloccato il pezzo (fuoriuscita stelo cilindro B). Nella fase 3 si ha avvicinamento al pezzo dell'unità di foratura e foratura (corsa estratta slitta cilindro senza stelo C). Nella fase 4 il cilindro C viene represso. La fase 5 vede l'apertura della pinza. Infine, nella fase 6, lo stelo del cilindro A rientra e si ripredispone per il nuovo ciclo.

A completare il diagramma movimento-fasi riguardo ai segnali che intervengono e sulle modalità di chiusura del ciclo si aggiungono le linee di interconnessione tra i punti terminali di un movimento (termine di una fase) e l'inizio dei movimenti della successiva fase: l'indicazione dei segnali di fine-corsa che intervengono e una freccia, che rappresenta il flusso di trasmissione delle informazioni, completano le informazioni. Questo si vede nel diagramma precedente, dove si vedono i consensi dei fine corsa. Si noti, in particolare, che il passaggio dalla fase 3 alla fase 4 è ottenuto col segnale del fine-corsa c_1 , che chiude su se stesso il comando del cilindro C.

Questa rappresentazione è la stessa anche nel caso di più segnali di fine-corsa che condizionano il passaggio a una fase successiva con operazione AND (figura seguente(a)) o più attuatori che vengono attivati contemporaneamente in una stessa fase (figura seguente (b)). Anche il caso di fasi temporizzate trova una sua opportuna rappresentazione, come è indicato nella figura seguente (c).

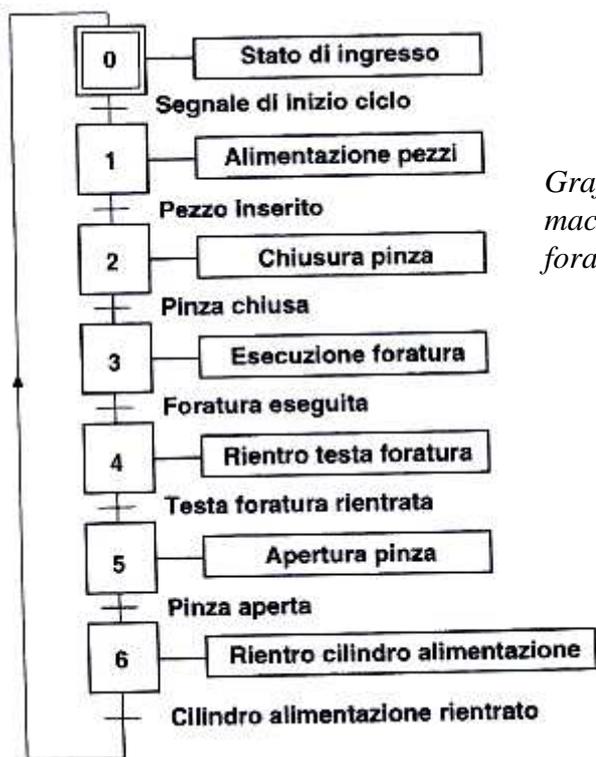


Varie situazioni di passaggio a fasi successive: a) segnali di fine-corsa AND; b) comando contemporaneo di più attuatori; c) fase temporizzata.

Grafcet descrittivo

Il *grafcet* è un diagramma funzionale in cui le diverse fasi sono rappresentate tramite caselle numerate successive collegate tra loro da una linea per la successione delle fasi. Per ogni casella si ha l'operazione dei movimenti o dei segnali. Sulle linee di interconnessione sono riportate le condizioni di passaggio da una fase a quella seguente (condizioni di *transizione*). Il *grafcet descrittivo* è la prima forma di rappresentazione utilizzata nel progetto di un ciclo automatico. Nel *grafcet descrittivo* le varie operazioni da compiere e le condizioni di transizione da una fase alla seguente sono riportate in modo esteso, descrivendo in modo dettagliato le operazioni e le condizioni da soddisfare. Tale rappresentazione viene utilizzata nella fase iniziale, quando il tipo di attuatori da utilizzare non è stato ancora considerato.

Nella figura seguente si ha il *grafcet descrittivo* del ciclo della macchina automatica per foratura pezzi sopra citata; questa rappresentazione ripercorre gli stessi movimenti e gli stessi condizionamenti da una fase all'altra del diagramma movimento-fasi.



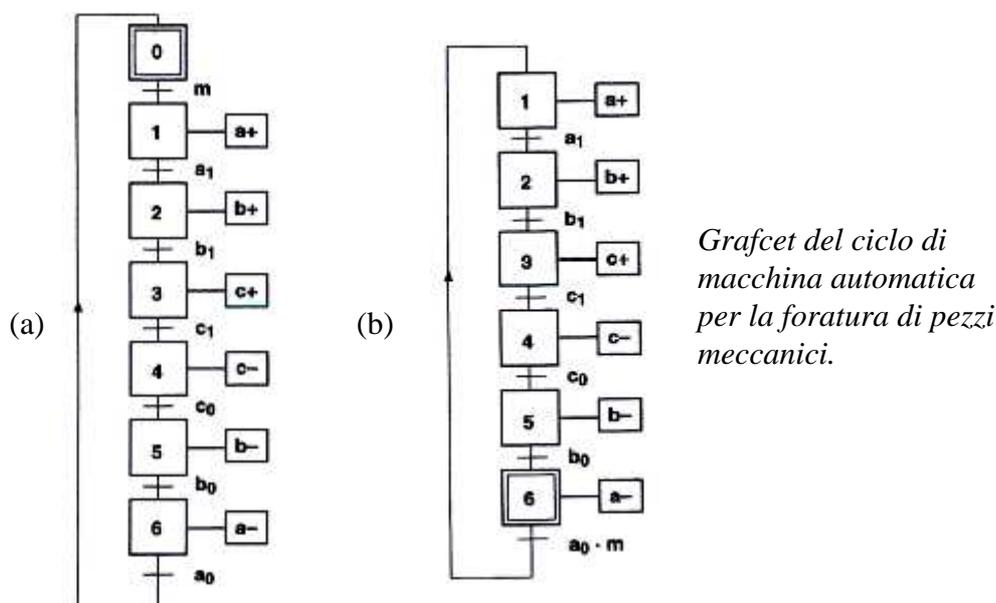
Grafcet descrittivo del ciclo di macchina automatica per la foratura di pezzi meccanici

Nel diagramma *grafcet* risultano ben evidenziate le condizioni di riposo della macchina, che corrispondono alle condizioni di arresto tra un ciclo e l'altro, o quelle di fermata a fine produzione. Ciò si ottiene con l'indicazione di una casella "0" seguita da un "segnale di inizio ciclo". La casella della fase di riposo è evidenziata con un doppio contorno. Il ciclo viene chiuso su sè stesso da una linea di passaggio dalla sesta fase alla fase di riposo.

Grafcet funzionale

Il *grafcet funzionale* è un diagramma sintetico dei cicli di una macchina automatica. Nei grafcet funzionali alla descrizione dettagliata si sostituisce l'indicazione sintetica dei movimenti o dei segnali. Questo diagramma viene sviluppato quando è già stata fatta una scelta sul tipo di attuatori da impiegare.

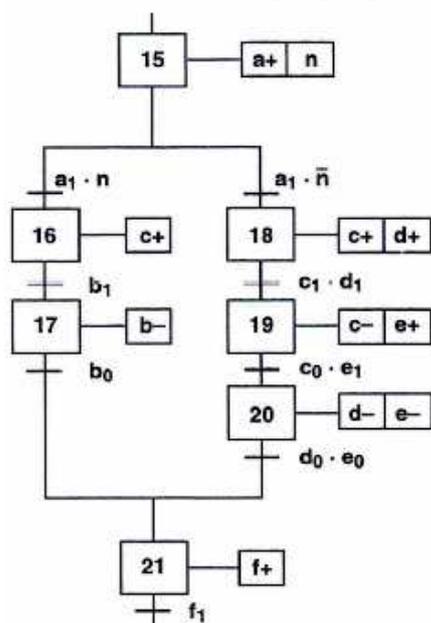
Nel caso dei movimenti si utilizzano le stesse lettere riferite agli attuatori (ad esempio, la lettera A maiuscola per l'attuatore A) seguita da un + o un - nel caso di fuoriuscita o di rientro. Per i segnali di comando si utilizzano le stesse lettere degli attuatori, ma minuscole seguite sempre da un + o da un - quando il segnale provoca la fuoriuscita od il rientro dell'attuatore. Il segnale che fa fuoriuscire l'attuatore A sarà a+. I segnali dei fine-corsa sono sempre indicati con la stessa lettera, ma minuscola, dell'attuatore, con pedice 0 per lo stato di rientro, o di riposo, e col pedice 1 per lo stato di fuoriuscita.



Nella figura sopra (a) è riportato il grafcet con segnali di comando, per il ciclo automatico della macchina per foratura. In tale diagramma è evidenziata la casella con lo stato di riposo (casella 0). Invece Nella figura sopra (b) si ha una ulteriore forma contratta, in cui è stata eliminata la fase di riposo come fase separata; lo stato di riposo, che si realizza al termine della fase 6, è stato inglobato in tale fase, che ha assunto, con un doppio riquadro, il significato di stato di riposo al termine. In modo coerente sono state anche conglobate le condizioni di transizione tra la fase 6 e la fase 0 e tra la fase 0 e la fase 1; si noti la condizione AND tra fine corsa a_0 e inizio ciclo m .

Cicli articolati

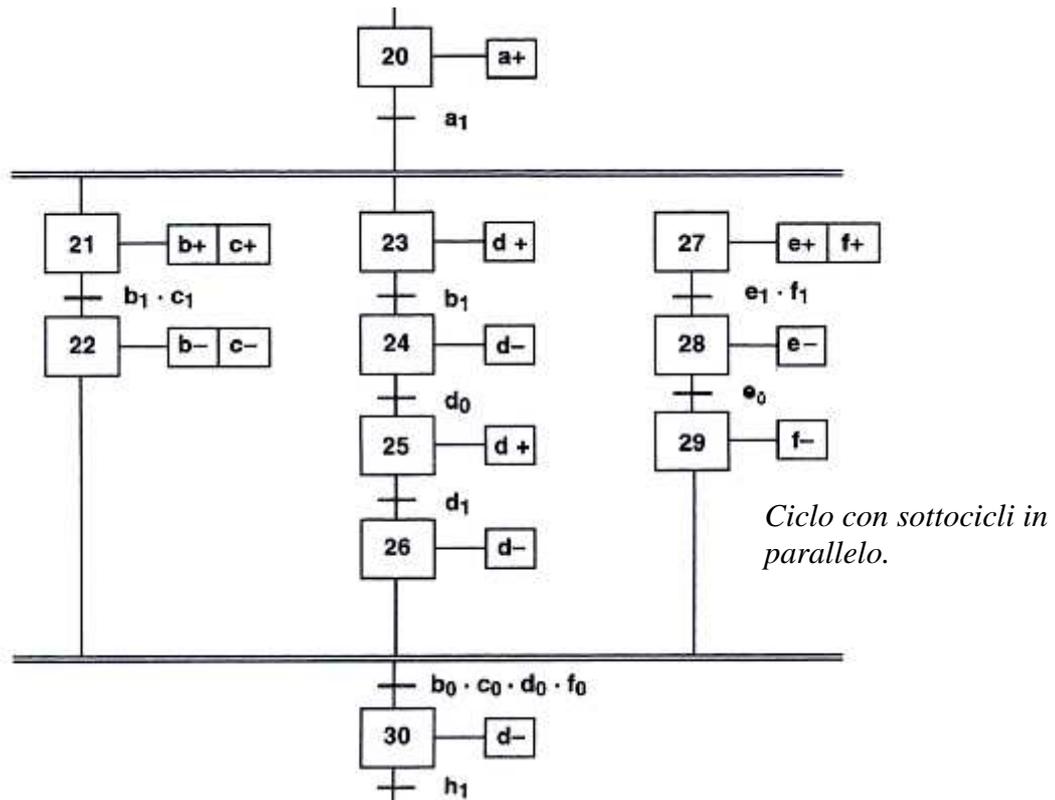
Il diagramma grafcet consente di rappresentare in modo generale cicli di forma generica. Nelle macchine automatiche molto spesso è necessario realizzare cicli con salti condizionati di fase, con ripetizioni multiple di fasi, con *sottocicli*, sia in alternativa, sia in parallelo. Questo avviene, ad esempio, quando si presenta la necessità di controllare lo stato di un particolare prima di una lavorazione o di un montaggio o in fase di collaudo, si devono selezionare pezzi e suddividerli in pezzi validi e pezzi non validi o di scarto. Questi tipi di operazione richiedono una scelta tra sottocicli in alternativa, per poi tornare a un unico ciclo. La rappresentazione di un ciclo che si biforca su due *sottocicli in alternativa* è possibile secondo lo schema riportato nella figura di seguito: alla fase 15 possono seguire due differenti fasi (16 o 18) condizionate dallo stato di un segnale (n) che viene interrogato. Se lo stato n è soddisfacente ($n=1$), la condizione logica AND ($a_1 \bullet n$) invia sul primo sottociclo; se lo stato n non è soddisfacente ($n=0$), lo stato logico AND ($a_1 \bullet \bar{n}$) invia sul secondo sottociclo. In ogni caso, al termine di uno qualsiasi dei due sottocicli il ciclo riprende con la fase comune 21, per poi proseguire.



Grafcet di un tratto di ciclo con sottocicli in alternativa.

Molto frequenti sono anche i *sottocicli paralleli* che si hanno quando in una stazione di lavorazione vi sono più di sottocicli che devono svilupparsi in parallelo, in modo tale che il ciclo comune può riprendere solo quando tutti i sottocicli sono terminati.

Questo è anche il modo di operare di macchine automatiche a tavola rotante, con più stazioni di lavoro, in cui ogni singola stazione effettua un sottociclo e il trasferimento contemporaneo dei pezzi alla stazione successiva avviene solo quando tutti i sottocicli sono terminati. Nella figura seguente si ha un esempio di un grafcet che riporta tre sottocicli in parallelo, evidenziati da una doppia linea all'inizio e al termine.



I tre sottocicli iniziano contemporaneamente (fase 21, 23, e 27). Il passaggio alla fase comune successiva ai sottocicli (fase 30) avviene solo quando tutti e tre i sottocicli sono terminati: la condizione di prodotto logico AND ($b_0 \bullet c_0 \bullet d_0 \bullet f_0$), prima della fase 29, garantisce il verificarsi di questo.