

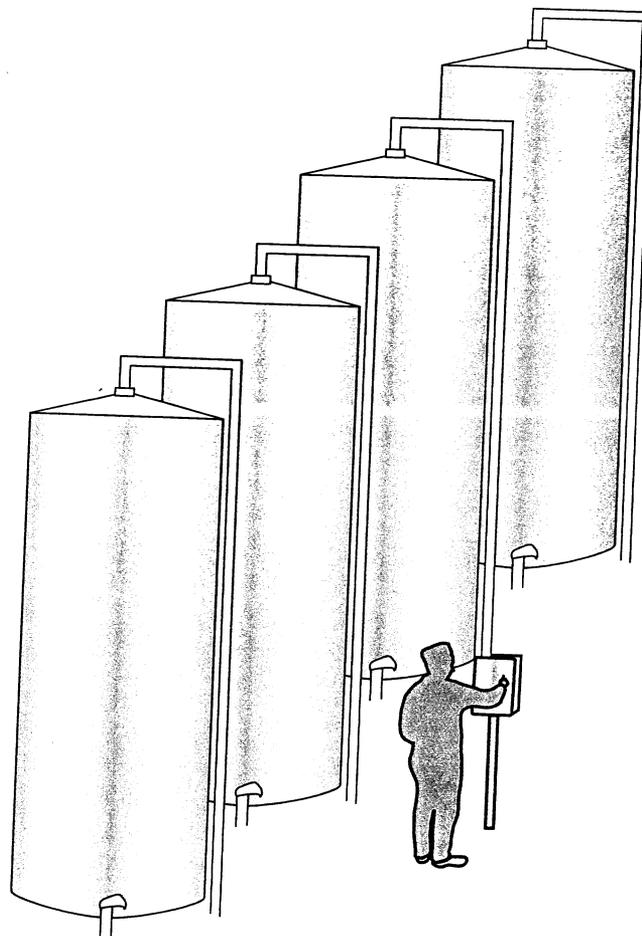
Nei processi di produzione alimentare è necessario prendere i seguenti criteri:

- capacità di produzione richiesta
- qualità e igiene del prodotto finale
- flessibilità della produzione
- utilizzo ottimale del lavoro
- operazioni economiche che massimizzano il profitto
- conformità con i regolamenti ambientali imposti dalle nazionali o internazionali
- allestimento di un ambiente di lavoro sicuro
- soddisfacimento di qualunque vincolo speciale imposto di trasformazione.

Il rispetto di questi criteri richiede un monitoraggio continuo di trasformazione degli alimenti e interventi tempestivi nel caso di scostamenti.

In questa sezione si esamineranno alcuni dei principi alla base del controllo automatico degli impianti di trasformazione. La progettazione e l'installazione dei controlli di processo richiede conoscenze di matematica avanzata che vanno oltre lo scopo di questo libro. Sarà comunque introdotta la logica di base di una progettazione di tali controlli.

Figura 17.2
Controllo manuale dell'operazione di riempimento dei serbatoi in una cantina.



PRINCIPI DI CONTROLLO DI PROCESSO

17

17.1 CONTROLLI DI PROCESSO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE

Una tipica azienda di trasformazione alimentare richiede un certo numero di operazioni unitarie che sono realizzate con differenti impianti di trasformazione: operazioni quali il pompaggio, la miscelazione, il raffreddamento, il congelamento, l'essiccazione e il confezionamento. Gli impianti di trasformazione spesso funzionano in modo continuo, il che determina un'efficienza di processo superiore a quella che si avrebbe lavorando a partita. Nella progettazione di uno stabilimento di trasformazione alimentare, l'impianto è organizzato secondo una certa logica in modo che, non appena la materia prima entra nello stabilimento, questa è trasportata attraverso le varie parti dell'impianto mentre subisce le trasformazioni desiderate.

La Figura 17.1 mostra il diagramma di flusso delle tipiche operazioni utilizzate nella produzione dei pomodori in scatola. Queste comprendono lo scarico dei pomodori dai camion, il lavaggio, la pulizia, la classificazione, la rimozione della buccia, il riempimento delle lattine e, infine, la sterilizzazione in autoclave. La maggior parte delle attrezzature impiegate per realizzare queste operazioni è collegata a vari tipi di nastri trasportatori che permettono l'esecuzione dell'intero processo in un sistema continuo. Alcune delle operazioni richiedono l'intervento dell'uomo, come l'ispezione dei pomodori in arrivo per assicurare la rimozione di oggetti estranei indesiderati, quali zolle di sporcizia e frutti particolarmente danneggiati. In ogni caso, la maggior parte dell'impianto opera senza l'intervento dell'uomo grazie all'impiego di sensori e sistemi automatici di controllo.



Figura 17.1
Fasi di lavorazione nella
produzione dei pomodori
in scatola.

Si consideri il semplice caso, secondo cui il compito assegnato a un operatore consiste nel pompare del vino in diversi serbatoi (Figura 17.2). Per eseguire il suo compito l'operatore segue varie operazioni secondo un procedimento logico: sceglie un serbatoio vuoto e lavato in precedenza, apre una valvola per dirigere il vino nel serbatoio, ne verifica il riempimento, per poi indirizzare il vino verso il prossimo serbatoio disponibile e così via. L'operatore verifica in continuazione il livello del vino nel serbatoio che sta riempiendo per assicurarsi che non diventi troppo pieno e che non si verifichi la perdita del prodotto. Una logica simile può essere programmata in un sistema di controllo automatico per eseguire il compito desiderato senza la necessità di un intervento significativo da parte dell'uomo.

17.1.1 Variabili di processo e indicatori di prestazione

Nella gestione di un impianto di trasformazione, un operatore è spesso interessato a una moltitudine di differenti variabili di processo. Ad esempio, in un sistema di riscaldamento, può essere necessario monitorare la temperatura di un prodotto con una certa attenzione. Durante la pastorizzazione del latte tramite uno scambiatore di calore, la temperatura deve raggiungere i 71°C ed essere mantenuta a tale valore per una durata di 16 s in modo tale da distruggere gli agenti patogeni nocivi. L'operatore deve pertanto assicurarsi che la temperatura raggiunga il valore desiderato per l'intervallo di tempo specifico. In caso contrario, il latte risulterebbe trattato in maniera insufficiente (diventando un prodotto pericoloso) o eccessiva, con compromissione del livello di qualità. In modo analogo, nella gestione di un impianto di trasformazione, variabili come la portata, il livello di un liquido, la pressione o il peso possono essere importanti e richiedere un monitoraggio e un controllo attenti.

Le **variabili controllate** sono semplicemente quelle variabili di un sistema che possono essere monitorate. Ad esempio, sono variabili controllate la composizione del vapore, la portata del vapore, la temperatura di un flusso d'acqua e il livello di acqua in un serbatoio. Nel processo di riscaldamento del latte, la temperatura è una variabile controllata. Altri esempi comprendono la pressione, la densità, il contenuto di umidità e parametri di qualità misurabili, come il colore.

Le **variabili incontrollate** sono quelle variabili che non possono essere misurate durante l'esecuzione di un processo. Ad esempio, durante il funzionamento di un estrusore, lo stato di sforzo cui sono sottoposte le viti dell'estrusore rappresenta una variabile incontrollata.

Le **variabili di regolazione** sono grandezze dipendenti che possono essere regolate per portare al risultato desiderato. Ad esempio, modificando la portata di vapore verso un serbatoio d'acqua si determina il cambiamento della temperatura dell'acqua stessa. Questa grandezza può essere regolata sia da un operatore, sia da un meccanismo di controllo. Durante il riscaldamento dell'acqua in una camera, la velocità di avanzamento del liquido è una variabile di regolazione. Una **variabile misurata** viene in genere utilizzata per modificare la variabile di regolazione. Esempi di variabili misurate sono la temperatura, il pH o la pressione, mentre una variabile di regolazione può essere la portata di un certo liquido o l'energia (come l'energia elettrica o termica).

Le **interferenze** nelle variabili sono quelle fluttuazioni causate non dall'intervento di un operatore o da un meccanismo di controllo, ma da un qualche cambiamento al di fuori dei confini del sistema. Le interferenze provocano effetti indesiderati in uscita dal sistema. Ad esempio, la temperatura dell'acqua in un serbatoio è una variabile controllata, ma può essere influenzata da un'altra

La **robustezza** descrive quanto un sistema sia in grado di tollerare variazioni nei parametri di processo. Una diminuzione nella robustezza di controllo significa che un piccolo cambiamento di un parametro rende il sistema instabile.

La **prestazione** esprime l'efficacia di un sistema di controllo e la prestazione esiste in genere un compromesso.

17.1.2 Segnali di ingresso e uscita per il controllo

Vari segnali sono continuamente trasmessi tra il sistema di controllo e l'impianto di trasformazione (Figura 17.3). Questi segnali comprendono:

- **segnali di uscita**, che inviano un comando per attivare o disattivare i componenti dell'impianto, come valvole o motori;
- **segnali di ingresso** verso il sistema di controllo che
 - a) forniscono una retroazione dai componenti del processo, come la posizione di una certa valvola o di un motore
 - b) misurano le variabili di processo selezionate come la temperatura, il flusso e la pressione
 - c) monitorano l'impianto di trasformazione e rilevano il stato di un determinato processo.

I segnali ricevuti dal sistema di controllo sono analizzati secondo una logica in esso programmata, analoga alla logica che potrebbe seguirne per controllare il processo. Gli obiettivi generali nel controllo di un impianto di trasformazione sono la minimizzazione degli effetti dovuti alle perturbazioni esterne, il funzionamento del processo in condizioni di stabilità e il mantenimento della prestazione ottimale. Nella sezione seguente si esaminano le differenti strategie utilizzate nella progettazione di un sistema di controllo.

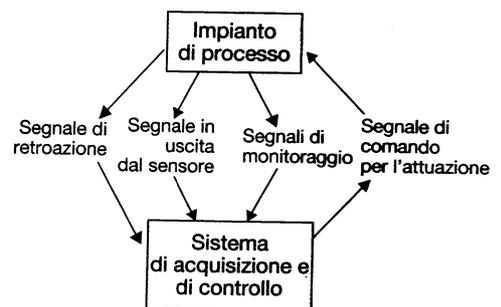
17.1.3 Progettazione di un sistema di controllo

17.1.3.1 Strategia di controllo

Un sistema di controllo può essere progettato per realizzare un controllo digitale o analogico oppure per monitorare un'attività. Ad esempio, si può realizzare un impianto di trasformazione sotto un sistema di controllo digitale in modo che possa essere acceso o spento da un pannello di controllo in una postazione remota. In modo analogo è possibile aprire o chiudere una valvola o attivare le varie parti di un impianto secondo una sequenza predefinita.

Un controllo analogico è realizzato tramite segnali continui. I segnali di controllo analogici sono utili per azionare valvole la cui apertura può essere regolata in maniera continua. Ad esempio, è possibile regolare la portata di acqua fredda o calda verso l'impianto di trasformazione.

Figura 17.3
Schema delle comunicazioni fra l'impianto di processo e il sistema di acquisizione/controllo.



Il monitoraggio consente di verificare gli aspetti critici del processo per eventuali errori gravi. Alla ricezione di un segnale di errore è possibile spegnere l'impianto o fermare il processo fino a quando non si è risolto il problema. L'acquisizione di dati è un'altra importante caratteristica dei sistemi di automazione. Le informazioni raccolte sono utilizzate nella gestione degli impianti al fine di migliorare l'efficienza di processo, programmare gli interventi di manutenzione, assicurare la qualità ed elaborare un'analisi dei costi.

17.1.3.2 Sistema di controllo ad anello chiuso

Si consideri il semplice esempio del riscaldamento dell'acqua in un serbatoio (Figura 17.4). Il serbatoio è dotato di una serpentina di vapore e di un agitatore. La funzione dell'agitatore è quella di realizzare una buona miscelazione in modo da rendere uniforme la temperatura dell'acqua all'interno del serbatoio. Questo significa che la temperatura non cambia tra punti diversi all'interno del serbatoio. Il vapore è convogliato nella serpentina tramite una valvola di regolazione. Nella serpentina esso condensa e, mentre l'attraversa, il calore di condensazione Q è trasmesso all'acqua circostante nel serbatoio. L'acqua in ingresso è pompata nel serbatoio con una portata massica \dot{m}_i (kg/s) e alla temperatura T_i , mentre in uscita essa ha una portata massica \dot{m}_e (kg/s) e una temperatura T (in equilibrio con la temperatura dell'acqua del serbatoio). Sia h il livello dell'acqua nel serbatoio. Durante il funzionamento di questo sistema di riscaldamento, è importante assicurarsi che il volume dell'acqua nel serbatoio sia mantenuto a un livello predeterminato, senza che il serbatoio diventi né troppo pieno né vuoto. Allo stesso modo, l'acqua in uscita dal serbatoio deve essere mantenuta alla temperatura desiderata.

In condizioni stazionarie questo sistema di riscaldamento dovrebbe funzionare bene se non ci sono variazioni della portata di acqua in ingresso (\dot{m}_i) o della sua temperatura (T_i). Cosa succede se c'è un cambiamento in una di queste due variabili? Ciò causerebbe un'interferenza nel processo che richiederebbe un intervento. Se il processo è gestito da un operatore che controllando la temperatura nota il cambiamento (interferenza), questi proverebbe a modificare la portata di vapore verso la serpentina, aprendo o chiudendo opportunamente la valvola di regolazione. Questa semplice descrizione del processo lascia comprendere come il sistema non possa operare in modo autonomo, ma richieda un controllo manuale o automatico.

L'obiettivo di un sistema di controllo è quello di determinare e correggere in continuazione l'apertura della valvola di regolazione al variare delle condizioni di carico. In un sistema di controllo ad anello chiuso (o a retroazione), una variabile controllata viene monitorata costantemente e confrontata con un valore desiderato, detto valore impostato. La differenza tra il valore **desiderato** e quello **impostato** viene chiamata **errore** di controllo. L'uscita dal sistema di controllo, che è funzione dell'errore, viene utilizzata per impostare la variabile di regolazione.

Si consideri un sistema di controllo della temperatura che possa sostituire la supervisione manuale.

Come mostrato in Figura 17.5, un sensore di temperatura (termocoppia) è installato nel serbatoio. La valvola di regolazione del vapore e la termocoppia sono collegate a un sistema di controllo. L'obiettivo di tale sistema consiste nel mantenere la temperatura dell'acqua al valore costante T_s (temperatura di impostazione) nel caso si verifichi una variazione della portata \dot{m}_i dell'acqua in ingresso o della sua temperatura T_i . Secondo questa configurazione, quando la termocoppia rileva un discostamento ε della temperatura T nel serbatoio rispetto a T_s , dove

$$\varepsilon = T_s - T \quad (17.1)$$

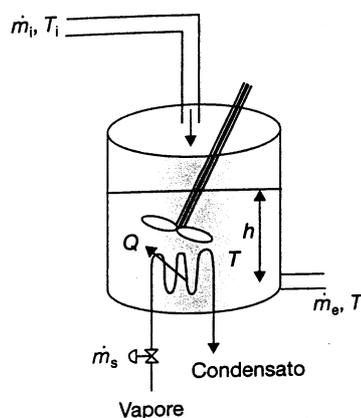


Figura 17.4
Serbatoio d'acqua riscaldata tramite uno scambiatore di calore a vapore indiretto.