

**ESEMPIO DI AUTOMATIZZAZIONE  
DI PROCESSO BIOTECNOLOGICO  
(E-Wine)**

*Giulio Botturi – Davide Quaglia*

# Introduzione

---

Il caso di studio di questa esercitazione tratta la tracciabilità nella gestione di una collezione di colture microbiche, in particolare delle fasi di archiviazione delle provette in un frigorifero e del primo controllo di qualità.

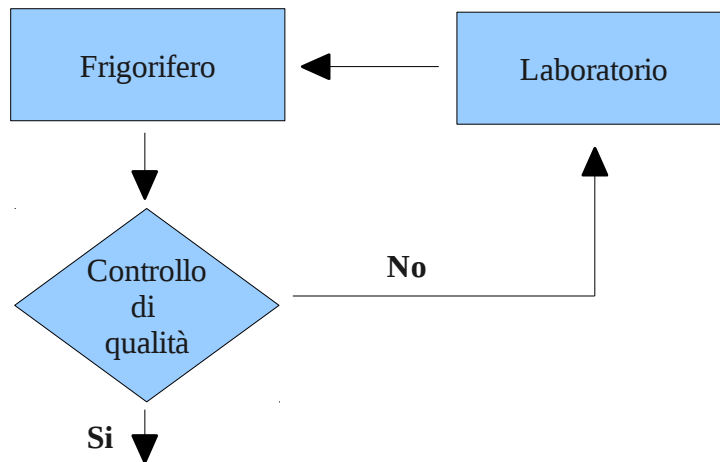
La tracciabilità di queste fasi interessa tre aspetti:

- *Identificazione automatica*  
La posizione corrente e gli spostamenti che le provette compiono devono essere tracciati in modo automatico
- *Una base di dati*  
E' necessaria per memorizzare le informazioni statiche sulle provette unite a quelle dinamiche, provenienti dall'identificazione automatica
- *Modellazione del workflow ideale*  
Importante al fine di verificare che le provette compiano il corretto percorso nel processo di lavorazione, rispettando i limiti imposti dalla procedura. Serve a verificare passo passo se la procedura applicata corrisponde a quella ideale.

I tre aspetti sono chiaramente intrecciati tra loro e fondamentali al fine di evitare errori e segnalare anomalie nella gestione del processo di produzione.

## 1. Descrizione del processo di gestione libreria ceppi

Il processo può essere così schematizzato:



La procedura prevede dei prelievi dalle provette contenute nel frigorifero e un successivo controllo di qualità. Durante il controllo viene verificato che il tempo medio che le provette hanno trascorso fuori dal frigorifero sia inferiore a una soglia massima (oltre la quale il contenuto deperirebbe) e che nelle stesse rimanga un livello minimo di prodotto.

Se questi due test non vengono superati le provette passano per il laboratorio dove sono rigenerate da lieviti figli di un ceppo simile e ritornano al frigorifero, altrimenti si preleva una parte del contenuto per la fase di produzione e la provetta torna nuovamente nel frigorifero.

Le provette all'interno del frigorifero sono organizzate in contenitori contrassegnati da un codice all'interno dei quali le posizioni sono identificate da una riga e da una colonna.



A ogni provetta è associato un numero progressivo, che ne indica i prelievi, e un contatore di rigenerazione. Tale contatore indica il numero di generazione dei microrganismi contenuti; se il contenuto della provetta A è figlio dei microrganismi della provetta B il numero di rigenerazione di A è incrementato di 1 rispetto a quello della provetta B. Una provetta è considerata vuota quando sono stati fatti 10 prelievi.

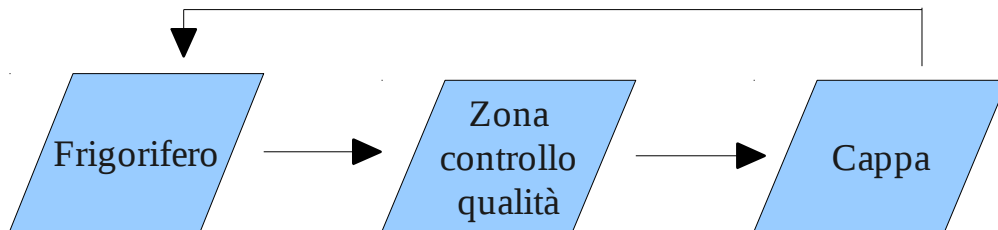
Per ciascun ceppo presente in frigorifero sono presenti più provette e in ogni momento almeno una replica deve essere piena. Questa accortezza è importante in quanto è necessario poter rigenerare le repliche nel momento in cui da queste sia stato effettuato il numero massimo di prelievi consentiti e quindi sono praticamente vuote. A ogni rigenerazione di una provetta viene incrementato il relativo contatore.

## 2. Movimentazione delle provette

---

Le provette nel loro ciclo di utilizzo passano dal **frigorifero** alla **zona controllo qualità** e, se i test non sono superati, vengono poi rigenerate nel laboratorio sotto una **cappa** sterile.

Ecco schematizzati i passaggi che le provette compiono:



Durante i vari passaggi viene contato il tempo che le provette trascorrono fuori dal frigorifero e tracciata l'area in cui si trovano. Questa operazione è importante al fine di verificare che esse seguano il corretto percorso verso le fasi successive.

Quando una provetta si sposta da un'area all'altra, un sensore ne rileva lo spostamento mediante lettura dell'etichetta RFID della provetta stessa. E' dunque possibile memorizzare in una opportuna base di dati la posizione istantanea di una data provetta e, per questa, tener traccia della sequenza temporale dei suoi spostamenti e di quanto ha sostato in una certa area.

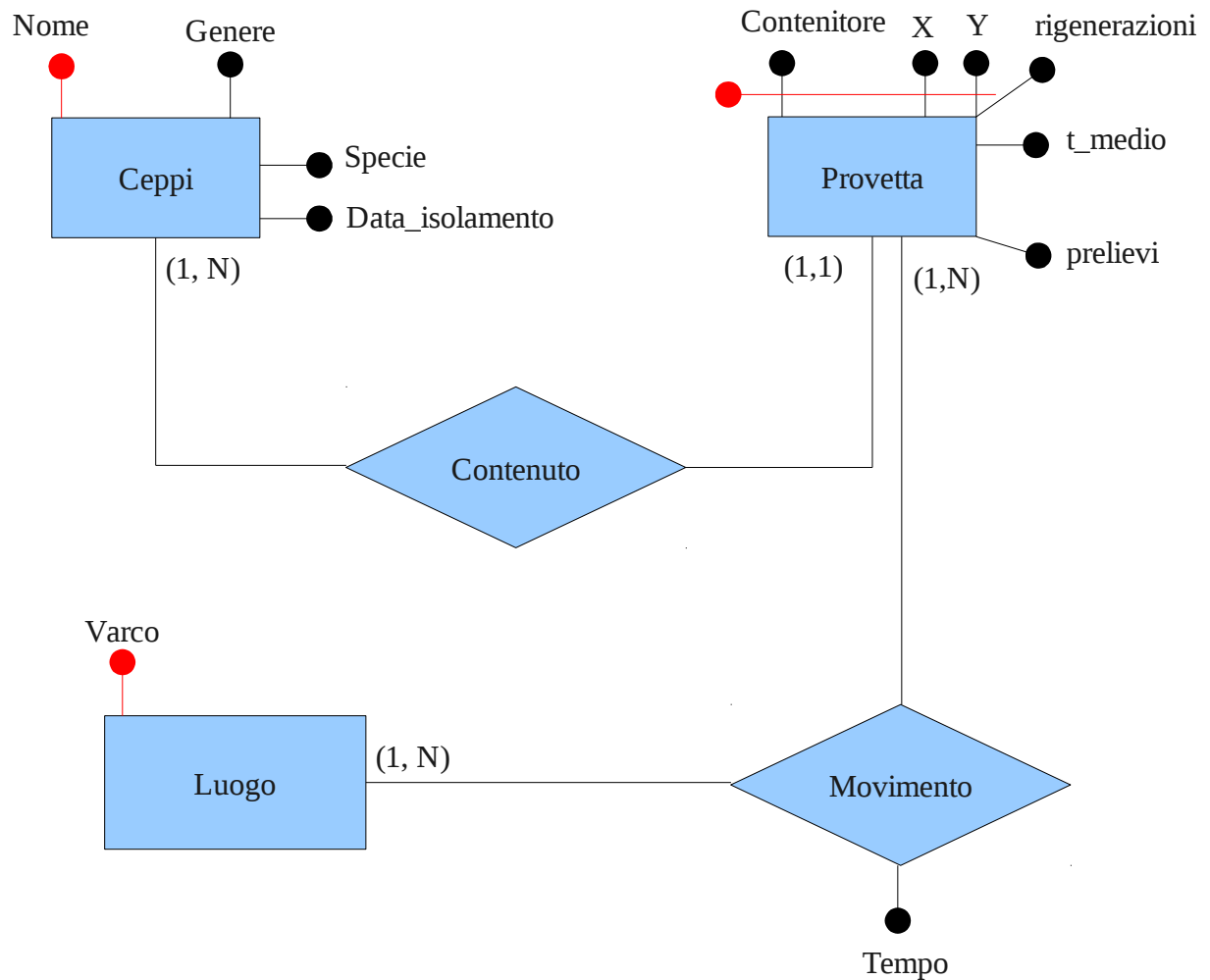
*...Vedere demo dei tre lettori RFID...*

### 3. Modellazione ER della base di dati

La tracciabilità tra le varie fasi del processo richiede la memorizzazione di alcune informazioni essenziali per la corretta verifica della procedura seguita.

In particolare nel nostro caso il tempo medio che le provette trascorrono fuori dal frigorifero, il numero di rigenerazioni effettuate e il numero progressivo di prelievi effettuati.

Definiamo quindi il modello ER per le entità in gioco nella base di dati



Il modello ER origina tre tabelle

**POSIZIONE**

Contenitore	X	Y	Tempo	Varco
CN73	1	1	t0	Frigorifero
CN73	1	1	t1	Frigorifero
CN76	1	1	t2	ControlloQualità
CN76	1	1	t3	ControlloQualità
CN76	1	1	t4	Cappa
CN76	1	1	t5	Cappa
CN76	1	1	t6	Frigorifero
...	...	...	...	...

**PROVETTE**

Contenitore	X	Y	Contenuto	t_medio	prelievi	rigenerazioni
CN73	1	1	KM383	4'19"	3	1
CN73	1	2	KM383	0	0	3
CN76	3	1	KM334	1'10"	1	1
...	...	...	...	...	...	...

**CEPPI**

Nome	Genere	Specie	Data_isolamento
KM334	Oenococcus	oeni	01/01/05
KM383	Oenococcus	oeni	01/01/1997
16.1	Lactobacillus	hilgardii	07/03/2005
...	...	...	...

## 4. Modello ideale di processo

---

Per poter verificare che l'evoluzione reale di un processo sia conforme a quella ideale, è necessario definire un modello di quest'ultima.

Con un opportuno sistema di controlli sarà quindi possibile verificare, evento dopo evento, se la procedura corretta viene rispettata oppure se si arriva in una situazione di errore in cui l'oggetto tracciato non è più conforme al processo atteso (ad esempio il contenuto della provetta è corrotto).

Lo strumento formale che permette di descrivere l'evoluzione di un oggetto è la **Macchina a Stati Finiti** (Finite State Machine, FSM).

Una FSM è rappresentabile tramite un grafo dove i nodi sono gli stati della macchina e gli archi indicano le transizioni che essa può compiere da uno stato all'altro. Una etichetta sull'arco indica la condizione (evento o espressione sul database) che scatena la transizione e l'azione che ne consegue. La FSM consiste in un insieme di stati **Q**, un insieme di condizioni **C** e un insieme di azioni **A**.

Le possibili direzioni di evoluzione degli stati a seguito delle condizioni sono descritte dalla *funzione di transizione*

$$F: Q \times C \rightarrow Q$$

mentre le azioni sono descritte dalla *funzione di uscita*

$$U: Q \times C \rightarrow A$$

La memoria della macchina è costituita dallo stato in cui si trova per un determinato oggetto tracciato.

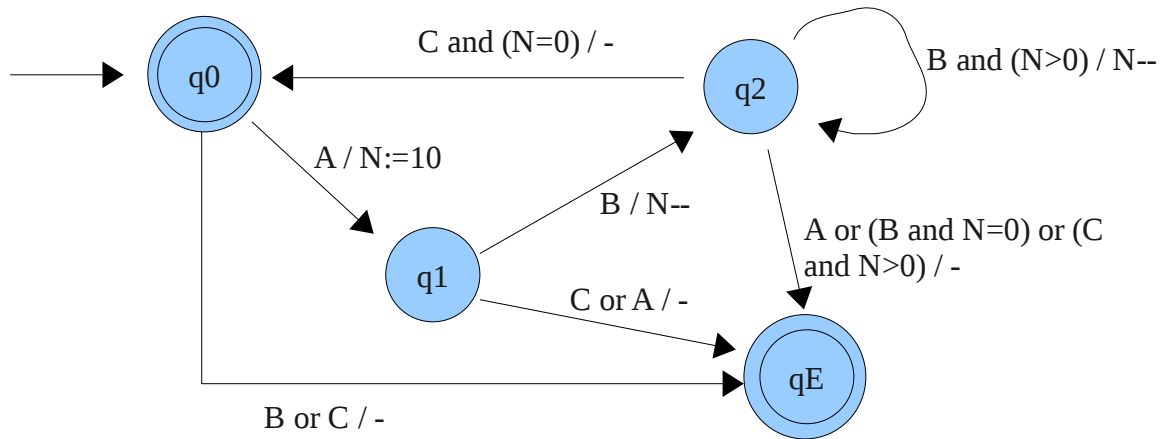
Si definiscono inoltre due stati particolari, uno di inizio e uno (o più) di terminazione.

Gli eventi sono scatenati da sensori che leggono le etichette RFID e quindi indicano lo spostamento dell'oggetto da un'area di lavorazione ad un'altra.

Gli stati rappresentano lo stato dell'oggetto all'interno del processo di lavorazione; uno stato particolare è quello di errore che indica che l'evoluzione dell'oggetto non ha seguito lo schema atteso e quindi l'oggetto è corrotto.

## Esempio

La FSM di seguito rappresentata è costituita da quattro stati **q0** **q1** **q2** **qE**, prevede tre eventi **A** **B** **C** e due azioni di aggiornamento del database **N:=10** **N--** (dove N è intesa come una variabile contenuta nel database). **q0** è lo stato iniziale e **qE** quello di terminazione.



Come si può notare il modello ideale di un dato processo di lavorazione prevede un evento **A** con assegnamento alla variabile N del valore 10. Successivamente un evento **B** decrementa la variabile N, mantenendo l'oggetto nello stato **q2** fino ad arrivare a zero. L'evento **C** riporta l'oggetto nello stato iniziale e la procedura riparte con il suo normale ciclo.

Se in uno degli stati si verifica un evento non previsto in quella fase della procedura, l'oggetto entra nello stato **qE** di errore rivelando che non è stato sottoposto ad un processo corretto (ad esempio, se l'oggetto fosse una provetta, il suo contenuto potrebbe essere deperito).



## 5. Esercizio

---

Si descriva la FSM del processo di gestione ceppi descritto al Capitolo 1 tenendo conto delle seguenti ipotesi:

- ognuna delle tre zone di lavorazione (Frigorifero, ControlloQualità, Cappa) è monitorata da un lettore RFID
- ogni provetta ha un tag RFID
- per l'accesso alle informazioni nel DB relative alla provetta si usa la seguente sintassi
  - ID.t\_medio
  - ID.prelievi
  - ID.rigenerazionidove ID è l'istanza della provetta nel database e la stringa che segue il punto indica l'attributo corrispondente
- per una provetta rigenerata si deve impostare ID.prelievi=10 e ID.rigenerazioni++
- una provetta è da rigenerare se ID.prelievi==0 oppure ID.t\_medio>=5

Suggerimenti:

- definire gli eventi scatenati dalla lettura dei tag RFID
- definire gli stati e le transizioni in base ai percorsi principali delle provette con relative condizioni (eventi e condizioni su attributi) e azioni (scritture di attributi)
- definire le transizioni che rappresentano anomalie del processo (nota bene: una provetta da rigenerare non è anomala; una provetta che non segue percorsi giusti è anomala)