



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI  
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA  
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Digitalizzazione dei processi produttivi in ambito  
cartario: prime applicazioni in Bartoli spa***

**SINTESI**

---

RELATORI

Prof. Ing. Gionata Carmignani

*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia  
dei sistemi del Territorio e delle costruzioni*

IL CANDIDATO

Gabriele Viviani

*g.viviani2@studenti.unipi.it*

Sessione di Laurea Magistrale del 29/09/2021

## **Sommario**

Il percorso di tesi è stato svolto presso l'azienda Bartoli spa, cartiera nel comune di Capannori, facente parte del Distretto Cartario lucchese.

Dopo un attento studio delle numerose fasi che costituiscono il processo produttivo della carta, l'analisi delle materie prime impiegate e dei macchinari coinvolti nella fabbricazione dei vari prodotti, è stata valutata la mappatura del flusso dei dati, sia su supporto cartaceo che digitale, presente in azienda.

Partendo quindi dalla situazione in essere dell'azienda, il percorso di tesi si è poi concentrato sull'inserimento di nuovi applicativi digitali o sulla modifica di software già impiegati, per ampliare il volume dei dati storicizzati al fine di avere un miglior controllo del trend del maggior numero possibile di variabili coinvolte e dell'intero processo produttivo. Questo sistema di supervisione e monitoraggio in real time delle varie linee di produzione sarà un ausilio fondamentale per migliorare le performance del processo produttivo e per individuare le azioni aziendali più strategiche da compiere.

## **Abstract**

The thesis was carried out at the company Bartoli spa, a paper mill in the municipality of Capannori and part of the "paper District" of Lucca.

First of all a careful study of the numerous phases that constitute the paper production process, the analysis of the raw materials used and the machines involved in the manufacture of the various products have been made and then, the mapping of the flow of data, both on paper and digital, in the company was evaluated.

Starting from the current situation of the company, the thesis path was then focused on the inclusion of new digital applications or on the modification of software already used, to expand the volume of data stored in order to have a better control of the trend of the greatest possible number of variables involved and of the entire production process.

This system of supervision and monitoring in real time of the various production lines will be a fundamental aid to improve the performance of the production process and to identify the most strategic business actions to be taken.

## **1. BARTOLI SPA**

L'azienda Bartoli spa nasce nel 1894 a Villa Basilica, un piccolo paese in provincia di Lucca, con la sua prima produzione di carta, asciugata ad aria. Di anno in anno, molti investimenti sia in macchine che strumenti sono stati effettuati finché, dopo la Seconda Guerra Mondiale, Bartolo Bartoli e la moglie Adelina hanno fondato una cartiera più tecnologicamente avanzata, di dimensioni maggiori e con un'organizzazione più moderna, spostandosi a Lucca. Si giunge così alla quarta generazione, quando, nel 1974 e nell'attuale sede di Carraia, i tre figli fondarono la cosiddetta PM1 ossia uno stabilimento innovativo per la produzione di cartoni da impiegare nel settore della cartotecnica da ufficio. È di una decina di anni dopo invece lo sviluppo di una seconda linea, chiamata PM2, per la fabbricazione del cartone fibrato per la calzatura che ha permesso all'azienda di essere stimata in moltissimi paesi nel mondo essendo leader nel mercato. La terza linea, denominata PM3, viene istituita a seguito di un successivo investimento, nel 1990, e con l'inserimento di tale linea la capacità produttiva dell'azienda sale fino a 70 tonnellate al giorno. Successivamente, un'evoluzione dell'impresa nel settore calzaturiero si è ottenuta con l'introduzione di una nuova linea di produzione, chiamata PM4, per la fabbricazione di una fibra innovativa per le sue notevoli proprietà fisiche e meccaniche denominata Duralite®. Nel 2017 è stato effettuato l'ultimo importante investimento con l'introduzione della nuova divisione innovativa chiamata Naturanda®, la quale produce una linea di stoviglie monouso in polpa di cellulosa biodegradabili e compostabili.

### **1.1. MERCATO E PRODOTTI**

L'azienda Bartoli spa non può essere considerata una semplice cartiera quanto piuttosto l'anello di congiunzione tra due settori, il cartario e il calzaturiero. Di fatti, la maggior parte dei prodotti è venduta al solettificio, che a sua volta rivende al calzaturificio, e quindi viene utilizzato dalle imprese operanti nel settore calzaturiero. I prodotti ottenuti non trovano applicazione esclusivamente all'interno del settore calzaturiero ma anche in altri settori come quello della componentistica industriale, packaging, cartotecnica, pelletteria e modelleria. Numerosi agenti e rappresentanti vengono impiegati dall'azienda per un'ampia distribuzione dei prodotti ai vari clienti nel mondo. Bartoli spa ha rapporti con circa 32 agenti, di cui 17 operanti in Italia e 15 operanti all'Estero.

## 2. ILLUSTRAZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO

La prima tappa del lavoro di tesi, svolto durante lo stage presso l'azienda Bartoli spa, si è concentrata sulla mappatura del processo di fabbricazione del cartone fibrato. Tale processo produttivo può essere rappresentato attraverso tre macroaree, come mostrato nella figura 1.

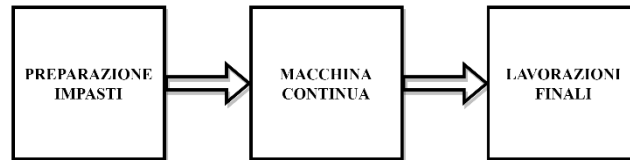


Figura 1. Macroaree del processo produttivo.

### 2.1. PREPARAZIONE IMPASTI

Il primo passo del processo produttivo coincide con la preparazione dell'impasto, un'attività completamente automatizzata e sotto sorveglianza del personale incaricato. Le materia prima fibrosa principalmente utilizzata all'interno dell'azienda Bartoli spa è la carta da macero, fatta eccezione per specifici generi di prodotto per i quali è previsto che venga aggiunta, in percentuali ben determinate, la cellulosa ASPA UKP-E. Le fasi del processo di preparazione dell'impasto sono rappresentate nella figura 2 sottostante:

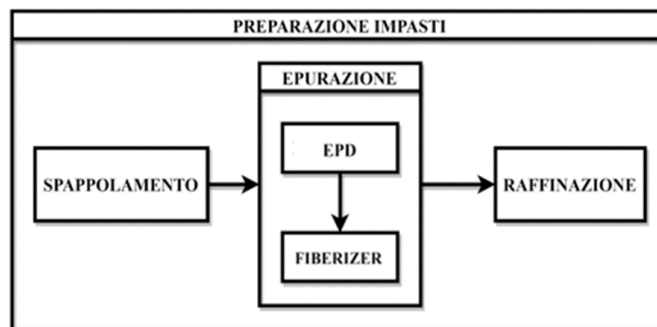


Figura 2. Flusso attività preparazione impasti.

### 2.2. MACCHINA CONTINUA

È proprio nella macchina continua che avviene la trasformazione della materia prima fibrosa nel prodotto finito vero e proprio. All'interno di essa si ha la realizzazione del manto fibroso e di seguito la creazione del foglio. In particolare, il manto fibroso creatosi grazie alle casse di afflusso, arriva al cilindro di taglio, grazie all'ausilio del feltro trasportatore. Ogni prodotto finito realizzato, in base alle esigenze del cliente, ha uno spessore specifico. Gli operatori incaricati impostano, dalla sala controllo, il numero di giri che il cilindro deve compiere per raggiungere un determinato spessore, che sarà più grande rispetto a quello richiesto in quanto

è necessario tenere in considerazione l'assottigliamento che il foglio subirà durante la pressatura, un passaggio che avviene successivamente. Come può essere osservato nella figura 3, il diametro del cilindro è all'incirca di 4m e al suo interno è presente, longitudinalmente, una lama, la quale, raggiunto il numero di giri impostato dagli operatori, esce attraverso una fessura praticata su tutta la luce del cilindro ed effettua il taglio del foglio. Il foglio realizzato, trasportato attraverso il feltro, viene poi sottoposto a pressatura e a essiccamento, per rimuovere la presenza di acqua al suo interno.



*Figura 3. Cilindro di taglio.*

Nella parte finale della macchina continua è presente la taglierina, la quale permette di ottenere i fogli in cartone fibrato secondo le misure commissionate dal cliente. Questa macchina è suddivisa in due zone: nella prima, il foglio uscente dal forno, viene tagliato longitudinalmente, mentre nella seconda zona, il foglio viene tagliato trasversalmente. All'uscita della taglierina, mostrata in figura 4, vengono posti dei pianali sui quali va a depositarsi il prodotto. Il numero dei pianali varia al variare dei tipi di formato che devono avere i fogli.



*Figura 4. Uscita della taglierina.*

### **2.3. LAVORAZIONE FINALI**

Dopo che i pianali vengono prelevati dalla piattaforma di sostegno all'uscita della taglierina, gli operatori li stoccano nel magazzino dei semilavorati, dove rimangono per circa 20-30 giorni, a seconda del tipo di prodotto finale che deve essere realizzato con il semilavorato. Tale

operazione prende il nome di stagionatura e permette di diminuire il peso umido e anche il tasso di umidità del prodotto. Allo scadere dei giorni necessari alla stagionatura del cartone fibrato, i pialali vengono sottoposti ad un processo denominato satinatura, che ha la finalità di ottenere fogli con lo spessore richiesto e anche di garantire che abbiano una certa lucidatura superficiale.

### 3. MAPPATURA DEL FLUSSO DEI DATI: com'era

Dopo aver effettuato uno studio del processo produttivo, la seconda fase dello stage si è concentrata sul rappresentare e comprendere come avviene il flusso dei dati, sia su supporto cartaceo che digitale, che accompagna le varie attività operative e produttive. La figura 5 sottostante mostra per ogni zona produttiva, partendo dalla macchina continua fino ad arrivare alla satina, le modalità di acquisizione dei vari dati.

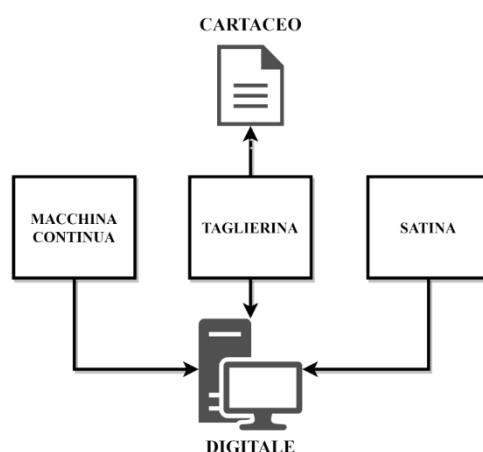


Figura 5. Modalità di acquisizione dei dati per ogni zona produttiva.

#### 3.1. ACQUISIZIONE DEI DATI IN FORMATO CARTACEO

Questo tipo di dati viene acquisito attraverso dei moduli cartacei che, durante la produzione, vengono compilati dagli operatori addetti alla taglierina. Si tratta di fogli raccolta dati il cui scopo è quello di monitorare l'andamento di due parametri:

- Peso del foglio singolo, espresso in grammi;
- Umidità del foglio singolo, espressa in percentuale.

Il monitoraggio di questi due parametri deve essere effettuato costantemente, al fine di garantire che rimangano in determinati range prestabiliti. Infatti, se durante le rilevazioni c'è uno scostamento del parametro dal range indicato all'interno della scheda di produzione, gli

operatori dovranno comunicarlo ai macchinisti affinché questi ultimi apportino le giuste modifiche alle impostazioni della macchina per rientrare nei target stabiliti.

## **3.2. ACQUISIZIONE DEI DATI IN FORMATO DIGITALE**

I dati in formato digitale vengono acquisiti in tutte e tre le zone produttive attraverso un Software chiamato Dymosoft®. Tale software è composto da moduli dinamici e rappresenta un'evoluzione dei fogli di lavoro Excel e dei supporti cartacei, rendendo il dato facilmente reperibile e aggiornabile.

### **3.2.1. MACCHINA CONTINUA**

Il modulo installato nella postazione presente all'interno della cabina di controllo della macchina continua, si chiama MODULO CONTROLLI MACCHINA. Ha lo scopo di:

- storicizzare informazioni inerenti all'andamento delle varie linee che compongono il flusso produttivo;
- fornire un supporto informativo per il turno successivo (passaggio di consegne).

### **3.2.2. TAGLIERINA**

L'acquisizione dei dati in formato digitale alla taglierina avviene attraverso il modulo chiamato TAGLIERINA. Esso è utilizzato per:

- caricare la produzione (in kilogrammi) all'interno del gestionale presente in azienda;
- compilare una check-list identificando il livello qualitativo dei pianali in uscita dalla linea.

### **3.2.3. SATINA**

Il modulo preposto alla raccolta dati alla satina si chiama MODULO SATINA, e ha lo scopo principale di:

- Scaricare i kg di produzione di semilavorato proveniente dalla taglierina;
- Caricare la produzione di prodotto finito;
- Aggiungere successive note qualitative dei prodotti realizzati.

#### **4. INTRODUZIONE DI NUOVI APPLICATIVI DIGITALI**

L'ultima fase del percorso di tesi nell'azienda Bartoli spa si è concentrata, sulla base di quanto appreso della mappatura del flusso informativo descritta precedentemente, sulla pianificazione delle attività e il coordinamento delle varie figure aziendali coinvolte, al fine di introdurre nuove metodologie digitali di storicizzazione dei dati. I dati raccolti getteranno le basi per la realizzazione di un sistema di misurazione delle performance aziendali attraverso l'analisi dell'Overall Equipment Effectiveness (OEE), indicatore globale di efficienza produttiva. Lo strumento OEE è studiato per individuare tutte le diverse tipologie di perdite che caratterizzano l'operatività di un impianto produttivo. Con la terminologia perdite si intende tutte quelle attività che vengono condotte all'interno dell'azienda e che assorbono energia senza però apportare un valore.

Tutte queste perdite vengono quantificate dall'OEE, il quale è il risultato della combinazione di tre fattori, quali:

- **DISPONIBILITA'**: tale termine comprende tutte le perdite di tempo connesse al riattrezzaggio, guasti, inattività e micro-fermate (DOWNTIME LOSSES);
- **PRESTAZIONE**: il quale tiene conto delle perdite di velocità (SPEED LOSSES);
- **QUALITA'**: che include le perdite dovute a difetti o rilavorazioni del prodotto e le perdite per prestazioni scarse avvengono nel momento dell'avviamento di un impianto (QUALITY LOSSES).

##### **4.1. MACCHINA CONTINUA**

Durante il percorso di tesi è stata effettuata un'indagine sul campo con il supporto di un tecnico di produzione. L'obiettivo è stato quello di verificare se vi fosse la disponibilità o meno di alcuni segnali, ritenuti indispensabili per il monitoraggio on-line delle prestazioni dell'intero processo produttivo. I dati acquisiti dalla macchina continua vengono gestiti dal Distributed Control System, DCS.

Tornando alla formulazione dell'OEE, nel particolare il calcolo della prestazione di efficienza della macchina, è necessario definire uno standard produttivo di riferimento per ognuna delle schede produttive in lavorazione. A questo riguardo è inserita all'interno del DCS una pagina nella quale vengono salvati tutti i parametri attuali della macchina. Questi parametri, per ogni scheda produttiva, in seguito dovranno essere scelti per creare una ricetta di lavorazione.



### 4.1.1. INTRODUZIONE DI UN NUOVO SOFTWARE DI ACQUISIZIONE E VISUALIZZAZIONE DEI DATI

Durante il percorso di tesi, affiancando un tecnico informatico, mi sono occupato dell'introduzione di un nuovo software per la visualizzazione e la storicizzazione di parametri ritenuti essenziali per il monitoraggio dell'andamento delle linee di produzione. Tale software si chiama ACRON ed è concepito per l'archiviazione a lungo termine di dati di funzionamento relativi all'intero impianto e per la loro analisi ed elaborazione. In particolare, le variabili del DCS vengo lette da questo programma grazie all'introduzione di tag e oltre a leggere semplicemente una variabile, ACRON permette anche di effettuare calcoli tra più variabili e di visualizzarle attraverso dei grafici.

I dati storicizzati possono essere filtrati per data e visualizzati attraverso più compressioni temporali, ovvero ogni minuto, ogni ora, ogni turno ecc.

Nella figura 6 di sotto, può essere osservato un esempio dell'interfaccia grafica di ACRON, con la visualizzazione dell'andamento della Pro\_attuale, in relazione al Codice\_Macchina e al Commento\_Macchina che rappresentano rispettivamente la scheda di produzione in lavorazione e il tipo e spessore di prodotto.

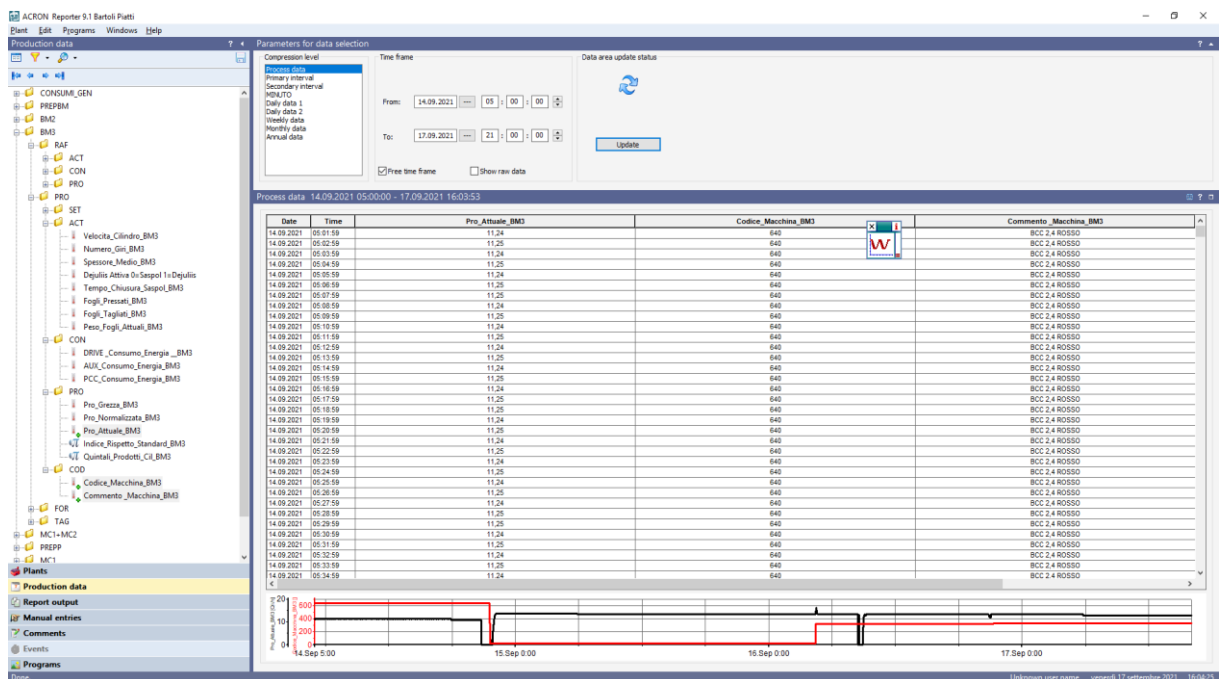


Figura 6. Esempio di interfaccia grafica del software ACRON.

#### 4.1.2. GESTIONE DELLE FERMATE

A supporto del calcolo del rapporto di disponibilità della macchina è stato necessario introdurre uno strumento di rilevazione e classificazione delle fermate della macchina continua. La classificazione delle fermate, in accordo con i responsabili di produzione, è stata strutturata come mostrato nella figura 7:

FERMATE ESTERNE SENZA PERSONALE	FERMATE ESTERNE CON PERSONALE	FERMATE INTERNE
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fermate Istituzionali;</li><li>• Assemblea/Scioperi;</li><li>• Necessità di mercato/logistiche;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fermate Programmate per grandi manutenzioni;</li><li>• Mancanza di utilities;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fermate per guasti meccanici;</li><li>• Fermate per guasti elettrici;</li><li>• Fermate Tecniche;</li></ul>

Figura 7. Classificazione delle fermate.

Per rilevare le fermate è stato introdotto un nuovo modulo all'interno del software già presentato al capitolo precedente DYMOSSOFT, chiamato MODULO DI GESTIONE FERMATE.

#### 4.2. TAGLIERINA

##### 4.2.1. RILEVAZIONE DELLO SCARTO DI LAVORAZIONE

Per il calcolo dell'indici di qualità è stato necessario creare un applicativo per rilevare le quantità scartate in ogni produzione. Per prima cosa sono partito dal cartaceo, fornendo agli operatori addetti alla taglierina un foglio di raccolta dati. Dopo aver raccolto tali fogli così compilati, procedevo inserendoli all'interno di un foglio di lavoro Excel, con lo scopo di monitorare l'andamento dello scarto fornendo dei report ai responsabili. Inoltre, a parità di causa di scarto, è stato unificato il termine da utilizzare da parte degli operatori. Tale procedura di acquisizione dei dati, successivamente è stata digitalizzata su Dymosoft.

##### 4.2.2. DIGITALIZZAZIONE MODULO CONTROLLO PESI E UMIDITA'

Sulla base dei fogli raccolta dati che vengono forniti agli operatori e in base alle loro modalità di compilazione, sono stati creati due moduli su Dymosoft, in grado di storicizzare i dati inseriti all'interno del suo database.

### 4.3. SATINA

Una delle criticità riscontrate durante la mappatura del flusso informativo, è stata quella della mancata rilevazione della quantità di seconda scelta e scarto prodotti alle satine.

Quindi, anche nel caso della satina, sono partito fornendo agli operatori addetti alla satina un foglio raccolta dati e successivamente, i dati raccolti, sono stati inseriti all'interno di un foglio di calcolo Excel. Allo stesso modo delle operazioni effettuate alla taglierina, sono state classificate le varie causali in modo tale da inserirle all'interno del modulo (digitalizzazione del formato cartaceo) in Dymosoft.

## 5. CONCLUSIONI E APPLICAZIONI FUTURE

Il mio lavoro di tesi ha avuto come obiettivo la digitalizzazione dei processi all'interno dell'azienda Bartoli spa. Tutto questo con lo scopo di gettare le basi per una futura introduzione di strumenti atti all'analisi e il monitoraggio delle prestazioni aziendali.

Facendo riferimento all'indicatore OEE, il mio lavoro di tesi è stato strutturato in modo tale da andare a rilevare dati necessari al calcolo delle varie voci che lo compongono.

Nella figura 8 in basso, attraverso uno schema, è possibile osservare le varie modifiche apportate al flusso informativo aziendale attraverso il lavoro da me svolto, ed è anche possibile vedere le modifiche future da effettuare che sono ancora in corso di lavorazione.

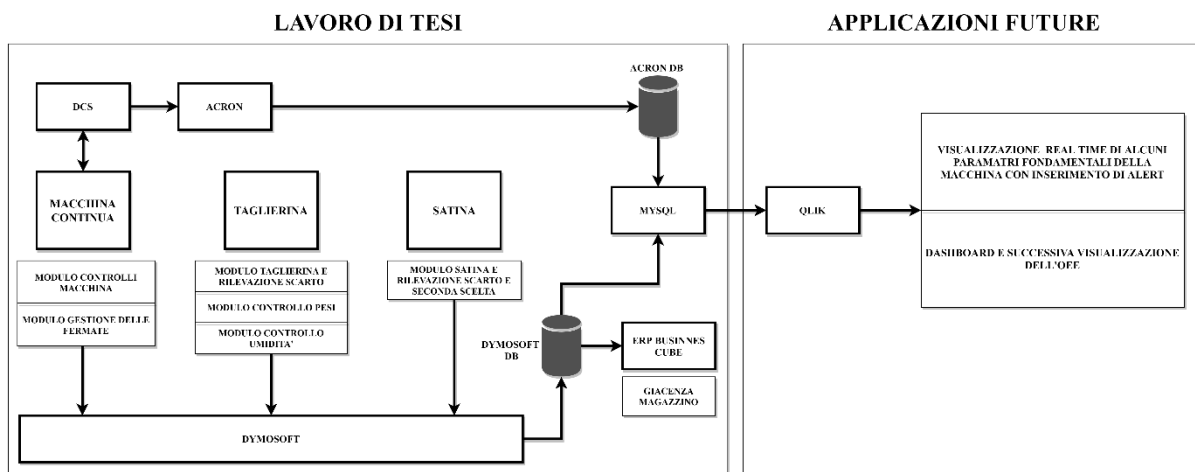


Figura 8. Modifiche apportate al flusso informativo aziendale durante il lavoro di tesi e modifiche che verranno effettuate nelle applicazioni future.

È stato possibile quindi aumentare la quantità di dati storicizzati provenienti dalle varie fasi del processo di fabbricazione, per avere un controllo sempre più diretto della produzione e per facilitare la scelta in favore di decisioni più strategiche da parte dell'azienda.

Ad oggi, invece, all'interno della Bartoli spa sto lavorando, con l'aiuto di altre figure aziendali, soprattutto alla visualizzazione real time di alcuni parametri fondamentali della macchina, attraverso il software Qlik. Tale programma consente di sviluppare e fornire rapidamente applicazioni di analisi guidata interattive e dashboard, al cui interno si avrà il calcolo dell'OEE, generando nuove viste sul momento. Le variabili presenti sono state scelte in comune accordo con i responsabili e provengono dalle varie fonti digitali prima descritte. Al suo interno stati inseriti dei semafori di alert per avere una visione istantanea sull'andamento della linea. Di seguito verrà illustrata una breve descrizione del funzionamento di un segnale di alert:

- Macchina on/off: per il funzionamento di questo semaforo, è stato deciso di prendere il valore di uscita del tag Pompa\_Impasto\_BM3, questo perché, quando gli operatori fermano la macchina, viene spenta anche questa pompa. Tale tag è presente su Acron e fornito a Qlik attraverso una vista creata su Sql. In particolare, il tag restituisce un valore pari a 0 se la pompa dell'impasto è spenta e 1 se accesa. Di conseguenza il semaforo sarà verde quando il valore del tag sarà 1 e rosso quando il valore sarà 0.

Sempre parlando di applicazioni future, si sta lavorando alla rilevazione delle fermate e degli scarti di lavorazione senza, o quasi, l'intervento degli operatori. Per quanto riguarda la prima, come già descritto in precedenza, viene preso a riferimento il valore del tag Pompa\_impasto\_BM3, ovvero, quando esso va a zero partirà il conteggio del tempo trascorso da quando esso restituisce un valore pari a 1. Successivamente a fine turno, agli operatori verranno mostrate i vari tempi di fermata e loro non faranno altro che descrivere la causa di fermo seguendo la struttura descritta nel paragrafo 4.1.2.

Per la seconda applicazione, si sta cercando di calcolare su Acron il valore dello scarto attraverso tag associati alle fotocellule installate lungo la linea, che contano il numero di fogli che passano. Per fare ciò però, sarà opportuno effettuare delle successive modifiche al DCS. Infine, uno dei lavori che si sta vuole portare avanti è anche la standardizzazione dei parametri di settaggio della macchina. Come accennato nel paragrafo 4.1, sono stati salvati un gran numero di produzioni con i relativi parametri, e il passo successivo sarà quello di stabilire per ciascun prodotto l'impostazione ottimale della macchina, e l'introduzione per le variabili scelte soggette ad alert, dei valori per costruire il semaforo. L'obiettivo futuro sarà quello di inviare dall'ufficio, in base agli ordini di produzione, la ricetta di lavorazione direttamente sul DCS. A questo punto, l'operatore selezionerà la ricetta inviatagli e gli verranno proposti i parametri con cui impostare la macchina.