



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea in **INGEGNERIA MECCANICA**

**MODELLI DI ASSOCIATION RULES PER IL CONTROLLO DELLA QUALITÀ DEI PRODOTTI  
PER AZIENDE DEL SETTORE DELLA CERAMICA**

**ASSOCIATION RULES MODELS FOR QUALITY CONTROL OF PRODUCTS  
IN THE CERAMIC SECTOR INDUSTRY**

Relatore: Chiar.mo

Prof. **Filippo Emanuele Ciarapica**

Correlatore:

Dott.ssa **Sara Antomarioni**

Tesi di Laurea di:

**Giovanni Piccinini**

**A.A. 2021 / 2022**

# Indice

1 INTRODUZIONE.....	4
1.1 SOMMARIO.....	4
1.2 L'INDUSTRIA 4.0 NEI PROCESSI DI CONTROLLO DELLA QUALITÀ.....	7
1.3 DATA MINING .....	14
1.4 INTRODUZIONE ALLE REGOLE DI ASSOCIAZIONE .....	16
2. INTRODUZIONE ALL'AZIENDA E AI PROCESSI PRODUTTIVI .....	20
2.1 MATRIX MODELLERIA: INTRODUZIONE DELLA REALTA' AZIENDALE.....	20
2.2 IL PROCESSO PRODUTTIVO DEI MATERIALI CERAMICI.....	21
2.2.1 LA MATERIA PRIMA.....	21
2.2.2 LA PREPARAZIONE DELL'IMPASTO .....	24
2.2.3 FORMATURA ED ESSICCAMENTO .....	24
2.2.4 SMALTATURA E COTTURA .....	26
2.2.5 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL PROCESSO PRODUTTIVO .....	27
3. RACCOLTA DATI .....	29
3.1 IMPOSTAZIONE DELLE TABELLE SU EXCEL.....	33
3.2 CREAZIONE DELL'INTERFACCIA E IMPLEMENTAZIONE TRAMITE CODICE VBA .....	35
3.2.1 VISUAL BASIC E FUNZIONI MACRO IN EXCEL.....	35
4. STATISTICHE GENERALI.....	40
4.1 FREQUENZA COMPLESSIVA DEI PRODOTTI DIFETTOSI.....	41
4.2 DIFETTI PER TIPOLOGIA DI PRODOTTO .....	43
4.3 DIFETTI PER PRODOTTI SCARTATI.....	46
4.4 DIFETTI PER PRODOTTI RIPASSATI.....	47
4.5 DIFETTI PER IMPASTO.....	49
5 ESTRAZIONE DELLE REGOLE DI ASSOCIAZIONE .....	51

5.1 INTRODUZIONE A RAPID MINER.....	51
5.2 PROCESSO DI ESTRAZIONE DELLE REGOLE SU RAPIDMINER.....	52
6 ANALISI DELLE REGOLE ASSOCIATIVE.....	56
6.1 REGOLE OTTENUTE TRA I DIFETTI RICONTRATI ED I PRODOTTI SCARTATI .....	56
6.1.1 PRIME COTTURE .....	57
6.1.2 COTTURE DI RIPASSO.....	58
6.2 REGOLE OTTENUTE TRAI I DIFETTI RICONTRATI ED I PRODOTTI RIPASSATI.....	59
6.2.1 PRIME COTTURE .....	59
6.2.2 COTTURE DI RIPASSO.....	60
6.3 REGOLE OTTENUTE TRA I PRODOTTI E I DIFETTI RICONTRATI .....	61
6.3.1 PRIME COTTURE .....	62
6.3.2 COTTURE DI RIPASSO.....	63
7 CONCLUSIONI .....	64

# 1 INTRODUZIONE

## 1.1 SOMMARIO

L'apporto della cibernetica nel settore industriale ha generato una significativa evoluzione non solo nelle metodologie costruttive, quanto più in un sensibile miglioramento di tutte le componenti complementari alla produzione in sé, spaziando dai settori manutentivi e all'implementazione dei layout industriali fino ad arrivare all'ottimizzazione della logistica e della capacità produttiva in base alle esigenze del mercato. Si può affermare quindi che l'intelligenza artificiale sia il motore della quarta rivoluzione industriale, al pari del motore a vapore o della produzione a catena, fattori che hanno permesso rispettivamente di meccanizzare e standardizzare i processi produttivi per l'utilizzo su larga scala. Tale analogia ha portato a definire questo nuovo ciclo evolutivo tecnologico come Industria 4.0.

La principale e significativa differenza rispetto al passato risiede nell'utilizzo dell'informazione come motore evolutivo di elementi preesistenti, senza quindi apportare modifiche fisiche ma con lo scopo invece di creare un'interazione simbiotica e primordialmente senziente tra componenti disgiunti.

Ai fini di una migliore comprensione del concetto può essere utile considerare un apparato industriale come simile ad un organismo vivente costituito da organi distinti, che svolgono mansioni specifiche, interconnessi tra loro grazie ad un sistema nervoso subordinato al controllo di un elemento cerebrale centrale. Quest'ultimo ha lo scopo di supervisionare un ampio spettro di informazioni provenienti da organi periferici per elaborare e coordinare istruzioni più complesse, ma anche fungere come semplice mezzo di comunicazione tra due o più elementi non direttamente connessi.

Da tale analogia si può quindi immaginare la componente cibernetica come un cervello capace di assimilare ed elaborare informazioni tra più macchinari altrimenti limitati a

singole funzioni, dando origine ad un organismo meccanico omogeneo capace di sviluppare quasi autonomamente scenari di ottimizzazione e coordinamento in precedenza delegabili al solo intervento umano.

Si evince inoltre il potenziale evolutivo teoricamente infinito di questa tecnologia, dovuta alle dimensioni virtualmente illimitate dello stesso ambiente in cui essa è stata creata, assimilabile concettualmente ad una “quarta dimensione” in cui sviluppare e programmare macchinari e sistemi complementari già in uso.

Questo elaborato ha lo scopo di documentare l’applicazione di metodologie inerenti all’Industria 4.0 specificatamente al controllo qualità di prodotti nel settore della ceramica, tramite l’analisi di dati storici utili ad estrapolare regole associative e redigere un modello predittivo con l’obiettivo finale di ridurre la frequenza complessiva di difetti di produzione.

Allo scopo di fornire conoscenze sufficientemente adeguate della materia trattata e permettere una comprensione critica dei procedimenti svolti e dei risultati ottenuti il documento prevede nei capitoli successivi una prima parte introduttiva riguardante il fenomeno dell’industria 4.0 e dei relativi processi relativamente al controllo della qualità, mentre nella seconda e ultima parte viene trattato nello specifico lo studio svolto dove, partendo dallo studio dei processi industriali coinvolti si è arrivati alla definizione ed implementazione di un modello predittivo fino all’interpretazione dei risultati ottenuti.

Nei primi capitoli vengono definite sinteticamente le caratteristiche delle tecnologie relative all’Industria 4.0 ed i relativi impieghi. Vengono approfonditi in particolare l’utilizzo ai fini di interconnessione cibernetica tra diversi livelli produttivi e l’impiego dei software di calcolo ed acquisizione di grandi quantità di dati a scopo di elaborazione predittiva di difetti di produzione o limiti legati al layout industriale.

Conseguentemente viene approfondito questo aspetto in uno specifico capitolo argomentando come l’elaborazione dei dati può fornire informazioni prima non accessibili con metodologie analitiche tradizionali, fortemente dipendenti dalla capacità interpretativa umana.

Viene successivamente dedicato un apposito approfondimento relativamente ai processi di creazione delle Regole di Associazione impiegate nello svolgimento di questa tesi, definendone le caratteristiche di funzionamento e i valori utilizzati al fine di determinare regole con validità attendibili.

A terminare la parte introduttiva viene esposto lo stato di fatto relativamente alla realtà coinvolta nella tesi svolta, fornendo inizialmente una breve esposizione dell'azienda coinvolta e della tipologia di articoli prodotti. Viene infine dedicata una sintetica descrizione del ciclo produttivo dei materiali ceramici coinvolti, definendone i passaggi fondamentali, dalla creazione della materia prima fino alla cottura del prodotto finito, riservando qualche riga per eventuali considerazioni riguardo possibili vulnerabilità all'origine dei difetti riscontrabili.

Terminata la fase introduttiva viene conseguentemente esposto il processo di studio ed elaborazione delle informazioni acquisite, a cominciare dalle modalità di acquisizione dei dati e dalla selezione delle informazioni necessarie a comprendere i difetti riscontrati, acquisendo informazioni sia relativamente alle tipologie di errori riscontrati sia ai parametri ambientali e di processo, quali temperatura ed umidità durante le fasi di lavorazione dei prodotti analizzati.

In seguito viene eseguita una breve indagine statistica allo scopo di individuare fenomeni macroscopici visibili dalle informazioni raccolte, determinando la presenza di articoli ritenuti particolarmente sensibili e le relative entità dei difetti presenti. Analogamente vengono acquisite informazioni sui difetti giudicati determinanti nella qualità del prodotto finale, pregiudicandone lo scarto o l'eventuale processo di ripasso.

L'ultimo capitolo descrive invece il percorso propedeutico alla creazione ed estrazione delle regole di associazione, descrivendo inizialmente il processo impiegato, tramite l'utilizzo del Software RapidMiner.

Vengono infine raccolte tutte le analisi svolte e le regole di associazione ottenute, analizzando in particolare la tipologia di difetti riscontrati nei prodotti scartati o ripassati

e nelle relazioni tra prodotti danneggiati ed i probabili difetti in essi riscontrabili. In ognuna di queste analisi segue una dettagliata spiegazione del fenomeno riscontrato, comparando i risultati ottenuti con la prima analisi statistica eseguita e definendo quindi eventuali cause all'origine dei difetti rinvenuti, determinando quindi possibili processi risolutivi al fine di limitare e prevenirne la ricomparsa, sia in termini di revisione dei processi che di modifica delle caratteristiche degli articoli prodotti.

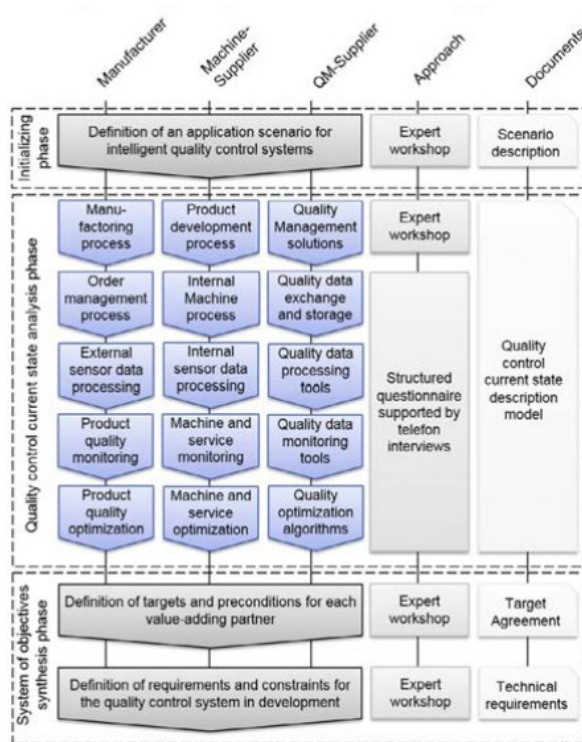
## 1.2 L'INDUSTRIA 4.0 NEI PROCESSI DI CONTROLLO DELLA QUALITÀ

L'impiego di tecnologie integrate riferite all'Industria 4.0 risultano particolarmente valide nel settore del controllo manutentivo e della qualità dei prodotti, dove sono richieste grandi capacità di calcolo e spazio di archiviazione di dati per la sintesi di risultati statistici attendibili, altrimenti non ottenibili se non con modelli limitati e fortemente dipendenti dalle capacità risolutive umane[1].

Il recente sviluppo di dispositivi diagnostici economicamente convenienti, quali per esempio sensori ottici e la proliferazione di piattaforme software resilienti e di facile implementazione ha accresciuto l'interesse di settori produttivi di piccola e media dimensione verso l'utilizzo di soluzioni all'avanguardia volte a migliorare l'efficienza dei propri sistemi, possibilità prima preclusa se non a grandi realtà industriali in grado di ammortare investimenti tecnologici attraverso economie di scala e sinergie degli apparati produttivi.

La malleabilità delle soluzioni software disponibili oggi rappresenta un ulteriore elemento a favore di produzioni eterogenee non su larga scala, dando la possibilità di modificare le condizioni o i fattori di controllo senza apportare modifiche fisiche significative ai dispositivi già in uso.

La selezione di sistemi integrati volti all'analisi qualitativa o manutentiva di un impianto produttivo deve essere anzitutto ponderata in base alla natura delle informazioni riguardanti i prodotti e delle condizioni operative contingenti necessarie ad una comprensione delle anomalie riscontrate[2].



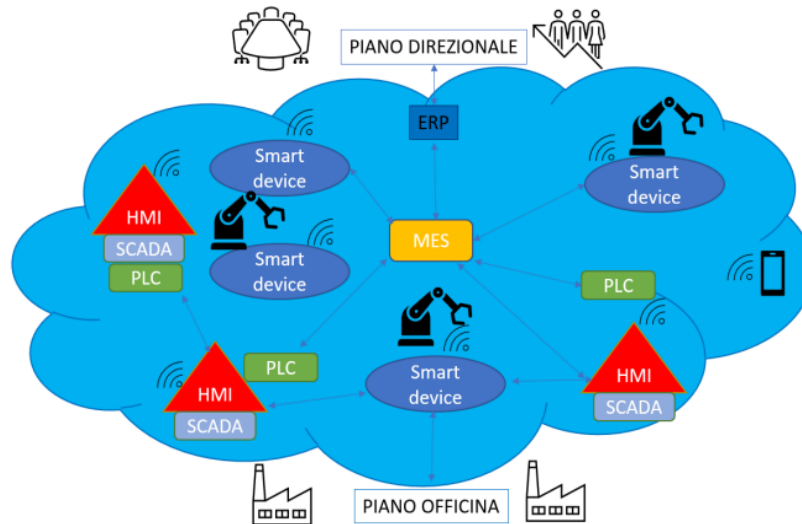
**Figura 1.1 - Analisi schematica per l'elaborazione di criteri utili all'elaborazione di un processo di controllo qualitativo**

Data la molteplicità di soluzioni tecnologiche presenti sul mercato e la complessità nel descrivere i criteri operativi specifici di tali sistemi risulta più conveniente eseguire una classificazione in base a macrocategorie tecnologiche, quali l'Internet of Things (IoT), Big Data and Analytics (BD), Simulazione (SIM), Cloud Computing (CC), System Interoperability (SIT), Cyber Security (CS), realtà virtuale e realtà aumentata (VR/AR)[3].

Dei gruppi tecnologici sopra citati l'Internet of Things (IoT) e i Big Data (BD) necessitano di particolare approfondimento, essendo questi necessari rispettivamente a



mettere in relazione sistemi fisicamente disgiunti e aggregare grandi quantità di informazioni eterogenee per estrapolarne valore o conoscenza tramite algoritmi specifici.



**Figura 1.2 - Schema esemplificativo di interconnessione in un sistema industriale 4.0**

Il primo elemento in particolare rappresenta la tecnologia abilitante portante di un sistema coerente ai requisiti di Industria 4.0, il cui funzionamento basato sull'utilizzo della rete internet permette l'integrazione orizzontale tra settori non gerarchicamente connessi, in contrapposizione all'organizzazione lineare piramidale tipica di un sistema produttivo, fornendo quindi uno scambio continuo e condiviso di dati provenienti da fonti interne ed esterne al fine di aggregare tutte le informazioni caratterizzanti di un prodotto, dalla materia prima fino alla logistica ed esperienza all'utenza.

L'acquisizione di grandi dati (BD) si pone invece come elemento complementare all'interconnessione in sé, dotandola di uno spazio di memoria necessariamente vasto e veloce in grado di metabolizzare la consistente mole e varietà di informazioni acquisite. L'accrescente richiesta di capacità richiesta allo svolgimento di tali mansioni ha portato nel tempo alla ricerca di soluzioni diverse dalle strumentazioni gestite in precedenza, quali computer o server. Ne è conseguita la tendenza ad esternalizzare lo stoccaggio virtuale di informazioni in favore di realtà terze specializzate nello sviluppo e gestione di infrastrutture nodali di archiviazione accessibili da remoto, dette più comunemente Cloud Computing[4].

Definiti i sistemi necessari al funzionamento di un apparato di controllo olistico coerente con i criteri dell'Industria 4.0 è ora possibile introdurre la loro funzione ai fini dell'analisi dei dati acquisiti.

L'analisi di grandi quantità di dati, più comunemente definita Big Data Analytics, ha l'obiettivo di esaminare le informazioni precedentemente acquisite allo scopo di descrivere eventi, identificare elementi ricorsivi o pattern ed estrapolare correlazioni tra informazioni non linearmente associabili, fornendo un importante supporto nei processi di Decision Making<sup>1</sup>.

Possono essere identificate quattro tipologie di analisi di dati distinte in base alla natura delle informazioni estratte:

- Descrittiva: fornisce una esposizione complessiva di un evento;
- Diagnostica: Analisi identificativa delle cause scatenanti di un determinato evento. Spesso associato a sistemi di data mining per ottenere un sufficiente supporto statistico;

---

<sup>1</sup> Il Decision Making è un procedimento analitico a step definiti, utilizzato in campo professionale ai fini dell'identificazione di problematiche grazie ad un'analisi ponderata di informazioni, all'esaminazione delle alternative ed infine alla selezione del percorso risolutivo più idoneo.

- **Predittiva:** Si occupa di studiare le relazioni tra più elementi al fine di identificare regole consequenziali univoche in grado di prevedere scenari in divenire;
- **Prescrittiva:** Sistema simile al caso precedente, dove le informazioni acquisite e l'identificazione dei problemi presenti permettono di elaborare e simulare diversi scenari risolutivi, fornendo di ciascuno un valore di efficacia oggettivo utile a selezionare la soluzione ottimale[5].

Definiti i principali processi analitici è necessario fornire un ulteriore approfondimento riguardante la modellazione predittiva ai fini di una migliore comprensione del caso specifico discusso nei capitoli successivi di questo elaborato.

In precedenza infatti il controllo qualitativo era prerogativa della supervisione umana, fattore limitato dall'accessibilità di osservazione dei processi e dall'esperienza empirica soggettiva, da cui ne possono conseguire errori non sistematici difficilmente prevenibili. L'avvento di sensori elettronici ha permesso invece un'acquisizione continua e in tempo reale con gradi di precisione nettamente superiore rispetto all'analisi manuale, ma restando però subordinata alla selezione e modellazione delle informazioni da parte di tecnici specializzati. Il processo predittivo si pone invece come elemento di unione tra l'infrastruttura diagnostica e l'interfaccia operativa, svolgendo autonomamente l'ispezione e il monitoraggio dei dati acquisiti fornendo infine un risultato comprensibile all'utenza, delegando quindi all'elemento umano il solo compito di predisposizione iniziale del sistema diagnostico e dei relativi programmi software.

Capability	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
	Visual inspections	Instrument inspections	Real time monitoring	Predictive maintenance in Industry 4.0
Process	- periodic inspection (physical) - checklist - paper recording	- periodic inspection (physical) - instruments - digital recording	- continuous inspection (remote) - sensors - digital recording	- continuous inspection (remote) - sensors and other data - digital recording
Content	- paper based condition data - multiple inspection points	- digital condition data - single inspection points	- digital condition data - multiple inspection points	- digital condition data - multiple inspection points - digital environment data - digital maintenance history
Performance measure	- visual norm verification - paper based trend analyses - prediction by expert opinion	- automatic norm verification - digital trend analyses - prediction by expert opinion	- automatic norm verification - digital trend analyses - monitoring by CM software	- automatic norm verification - digital trend analyses - prediction by statistical software - advanced decision support
IT	- MS Excel/MS Access	- embedded instrument software	- condition monitoring software - condition database	- condition monitoring software - big data platform and network - statistical software
Organization	- experienced craftsmen	- trained inspectors	- reliability engineers	- reliability engineers - data scientists

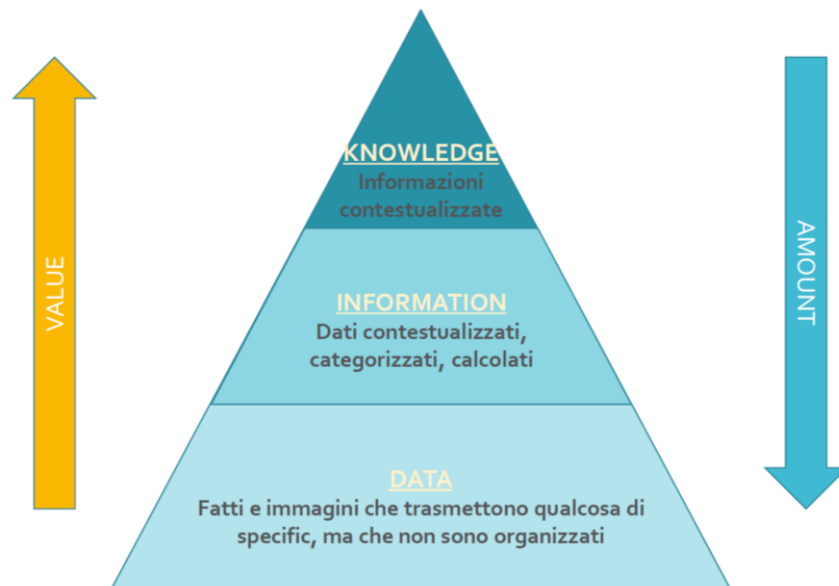
**Figura 1.3 - Confronto tra processi di controllo qualità a livello crescente di automazione**

E' possibile inoltre verificare come integrando ulteriori mansioni ed espandendo l'apparato manutentivo diagnostico su più livelli di programmazione, dalla creazione di una strategia manutentiva fino alla valutazione dell'intervento migliorativo stesso, appaia sempre più evidente come uno spazio con capacità di calcolo integrato sia fondamentale a sostenere una sempre maggiore quantità di informazioni ed elaborare un modello risolutivo continuo e coerente.

Life cycle	Maintenance processes [24]	Services	IIoT	BD	SIM	CC	SIT	VR/AR	AMR	AM	CS
Design for maintainability	Manage maintenance (strategy and improvement planning, etc.)	Advanced	✓	✓	✓	✓	✓				✓
	Budget maintenance of items	Advanced	✓	✓		✓					
Maintenance strategy planning	Manage data	Intermediate	✓	✓		✓					✓
	Ensure personal health and safety	Basic	✓				✓	✓	✓		✓
	Provide the needed infrastructures	Intermediate				✓	✓				✓
	Provide internal human resources	Intermediate	✓	✓	✓		✓	✓	✓		
	Provide external maintenance services	Intermediate	✓				✓	✓			
Maintenance task control	Deliver the tools, support equipment and information system	Basic	✓			✓				✓	
	Deliver the operational documentation	Basic				✓	✓				✓
	Deliver spare parts	Basic	✓			✓				✓	
Evaluation of maintenance results	Deliver maintenance requirements during items design and modification	Basic	✓		✓		✓				
Improvement of maintenance	Prevent undesirable events by avoiding failures and faults	Advanced	✓	✓	✓		✓				
	Implement preventive and/or corrective actions on the item	Advanced	✓	✓	✓		✓	✓	✓		
	Improve the maintenance results	Intermediate	✓	✓	✓		✓				
Improvement of equipment	Improve the items	Intermediate			✓					✓	
Dismantling planning and execution	Restore the items in required state	Basic	✓				✓	✓	✓		

**Figura 1.4 - Lista delle diverse tipologie di controllo nei processi operativi e correlazione con i sistemi tecnologici abilitati allo svolgimento delle relative funzioni**

### 1.3 DATA MINING



**Figura 1.5 Schema piramidale di confronto tra i processi di Data Mining per l'estrazione di valore (freccia gialla) e quelli di analisi tradizionale per la selezione dei dati (freccia blu)**

Il Data Mining definisce i processi statistici e matematici utilizzati alla base machine learning allo scopo di analizzare grandi gruppi di dati tra loro apparentemente disgregati per scoprirne ed estrarne infine relazioni correlative. Il nome con cui è stato battezzato questo processo rimanda infatti al concetto di estrazione minerario, e comprende per analogia tutti i programmi in grado di “scavare” in banche dati di notevoli dimensioni al fine di estrapolarne elementi e relazioni altrimenti non possibili con il solo intervento umano.

A differenza dei processi statistici tradizionali infatti il Data Mining non prevede l'inserimento condizioni selettive a priori ma determina autonomamente queste durante l'apprendimento stesso dei dati forniti e valutando quali di questi possono essere considerati determinanti a seconda del caso studiato in quel determinato istante. La principale differenza rispetto alla statistica classica risulta infatti il considerare in quest'ultima i dati secondo condizioni selettive ipotizzate preventivamente, definendo in via prioritaria l'importanza o meno di un dato visualizzato. Questo nuovo processo

invece non scarta informazioni ma si occupa invece di aggregarle e trovarne elementi comuni che possano correlarle.

Tale processo si differenzia quindi dal Data Fishing, ovvero la ricerca e l'estrazione di informazioni puntuali da una grande quantità di dati, il quale elabora quindi una risposta certa e non statistica, predisponendo forti condizioni al fine di determinare un'efficace e veloce selezione degli elementi analizzati.

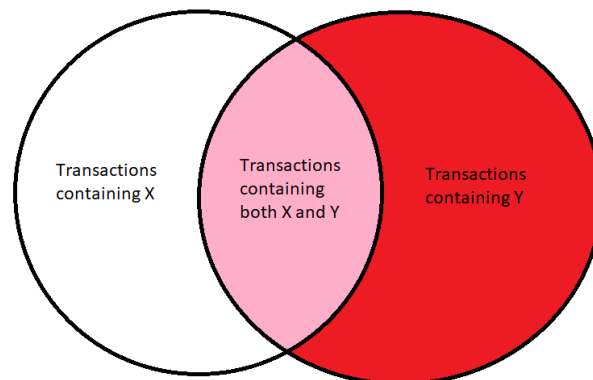
Al contrario, il Data Mining studia tutte le informazioni fornite per creare di conseguenza delle regole o gruppi in cui correlarle e poterne dare una visione d'insieme logica. Tali funzioni vengono definite rispettivamente Regole di Associazione ed Estrazione dei pattern sequenziali o analisi di gruppi.

La seconda è focalizzata sull'analisi a posteriori delle informazioni fornite con lo scopo di trovare correlazioni e similarità utili al raggruppamento in famiglie di dati tra loro coerenti tramite regole di Clustering. Le tecniche predittive studiano invece i dati forniti allo scopo di decifrare delle regole utili a prevedere scenari futuri con elevata probabilità statistica.

E' intuibile quindi il vantaggio che l'utilizzo di tale tecnologia offre in campo industriale, permettendo di individuare informazioni prima non percepibili vista mole di dati da analizzare e soprattutto di generare condizioni o selezioni che permettano di prevenire e fornire nuove strategie di ottimizzazione strategica, sia in campo produttivo che manutentivo, al fine di risolvere problematiche prima non individuabili o non comprensibili all'elemento umano.

## 1.4 INTRODUZIONE ALLE REGOLE DI ASSOCIAZIONE

Le regole di associazione sono metodologie di estrazione di informazioni al fine di identificare relazioni ricorrenti non necessariamente tra loro concatenate da un determinato rapporto di consequenzialità esplicita. Lo scopo è quindi di individuare informazioni studiando la frequenza statistica in cui queste si manifestano e determinarne così una relazione statisticamente attendibile.



**Figura 1.6 Schema di insieme rappresentante la relazione tra le informazioni estrapolate nelle regole di associazione**

Secondo la definizione fornita da Agrawal, Imieliński e Swami[6] è possibile definire il funzionamento di tali regole in modo compatto secondo la seguente definizione. Siano I e D due insiemi composti da elementi omogenei e distinti, tali che:

$I = \{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n\}$  contenente gli attributi od oggetti definiti nella ricerca

$D = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$  l'insieme delle raccolte contenenti i dati della prima tipologia, definite transazioni o eventi

Ad ogni elemento in D corrisponde un insieme di dati appartenenti all'insieme I, definito sottoinsieme. Di conseguenza è possibile definire una regola come implicazione tra elementi nella forma  $X \Rightarrow Y$  dove X è un insieme di dati appartenenti



ad  $I$ , mentre  $Y$  è un singolo oggetto compreso nell'insieme  $I$  ma non è presente nell'insieme  $X$ . La regola è quindi composta da elementi distinti appartenenti allo stesso insieme di provenienza. Essi vengono definiti in ordine consequenziale come premessa e conclusione o corpo e testa dell'implicazione creata. Tale implicazione semplice definisce un'affermazione consequenziale di tipo if/then (se/dunque), associando quindi ad un elemento generico dell'insieme un determinato valore appartenente allo stesso.

Il processo di costruzione di tali implicazioni viene elaborato dai programmi di data mining confrontando i dati acquisiti inizialmente con criteri statistici al fine di ottenere un efficace prova analitica. Viene dunque fatto uso di specifici criteri di CONFIDENZA e SUPPORTO quali criteri cardine dell'identificazione di pattern di dati ricorrenti.

Il supporto indica la frequenza statistica con cui un dato evento si manifesta rispetto al totale dei valori analizzati. Esso fornisce quindi un valore percentuale di probabilità di identificare i valori  $X$  e  $Y$  insieme rispetto al numero complessivo di dati.

$$SuppX \rightarrow Y = \frac{\#\{X,Y\}}{\#\{DataSet\}} = P(X,Y)$$

Il valore di confidenza fornisce invece indicazioni sull'affidabilità della regola generata. Esso infatti mette in relazione tutti gli eventi contenenti gli elementi  $X$  e  $Y$  insieme rispetto al totale dei dataset contenenti  $X$  come valore. Ciò permette di determinare la forza e l'attendibilità della regola appena verificata, ovvero indica la probabilità con cui tale relazione può verificarsi rispetto agli elementi  $X$  presenti nei gruppi di dati analizzati.

$$ConfX \rightarrow Y = \frac{\#\{X,Y\}}{\#\{X\}} = P(X|Y)$$

Al fine di comprendere più efficacemente tali concetti è possibile definire un esempio comunemente utilizzato, definito **Market Basket Analysis**. Viene presa come riferimento la raccolta dati di tutti gli articoli acquistati in un supermercato e delle

relative transazioni per ogni spesa all'interno di esso. Vengono quindi definiti gli articoli corrispondenti come l'insieme degli attributi Y mentre le transazioni effettuate contenenti gli articoli acquistati rappresentano i sottogruppi dell'insieme X.

Dataset {X}	Attributi {Y}
1	Pane, Latte
2	Pane, Pannolini, Birra, Uova
3	Latte, Pannolini, Birra, CocaCola
4	Pane, Latte, Pannolini, Birra
5	Pane, Latte, Pannolini, CocaCola

**Tabella 1.1** Elenco delle transazioni indicate come Dataset e i relativi prodotti, o attributi, acquistati

Viene deciso di verificare la regola  $\{Pannolini\} \Rightarrow \{Latte\}$ . Si procede dunque a stabilire i valori di supporto e confidenza della regola assegnata, ottenendo i seguenti valori:

$$\textit{Supporto (Pannolini} \rightarrow \textit{Latte)} = \frac{\#\{Pannolini, Latte\}}{\#\{Transazioni\}} = \frac{3}{5}$$

$$\textit{Confidenza (Pannolini} \rightarrow \textit{Latte)} = \frac{\#\{Pannolini, Latte\}}{\#\{Pannolini\}} = \frac{3}{4}$$

Dai risultati ottenuti è possibile quindi stabilire che per la regola assegnata si ha una probabilità del 60% delle transazioni eseguite in cui è possibile che vengano acquistati entrambi i prodotti, mentre il valore di confidenza indica che se avviene l'acquisto dell'articolo in premessa (Pannolini), si avrà una probabilità del 75% che venga acquistato il prodotto conseguente (Latte).

Si può notare quindi come le regole di associazione permettano di determinare relazioni tra elementi discreti in casistiche dove non è possibile determinare a priori fare assunzioni sul comportamento dei dati acquisiti. Rispetto all'analisi statistica

tradizionale non vengono poste condizioni di verifica tali da selezionare i dati forniti, ma piuttosto viene effettuato un procedimento in senso opposto in cui, partendo dalle informazioni ottenute, è possibile estrapolare tramite programmi regole selettive allo scopo di definire un'interpretazione logica rispetto a dati e informazioni altrimenti caotiche.

Al fine di determinare le relazioni più importanti in ogni analisi è importante definire valori di soglia rispetto ai valori minimi accettabili di supporto e confidenza, allo scopo di restringere il campo di studio agli eventi con probabilità di verifica significativamente alte. Nel caso di questo studio è stato posto come valore di soglia un parametro minimo di supporto pari a 0,001 relativamente piccolo ma necessario affinché potessero essere visualizzate in un primo momento tutte le regole ottenute di cui non erano stimabili a priori ordini di grandezza delle percentuali ottenibili. Una volta verificati i valori più significativi è stata aumentata la soglia di supporto minimo ad un ordine di grandezza superiore al fine da visualizzare soltanto le regole più significative. Ciò ha permesso quindi di ottenere una visualizzazione più semplice delle risposte fornite.

## 2. INTRODUZIONE ALL'AZIENDA E AI PROCESSI PRODUTTIVI

### 2.1 MATRIX MODELLERIA: INTRODUZIONE DELLA REALTA' AZIENDALE

L'azienda Matrix Modelleria Srl è un'azienda situata a Castellalto, in provincia di Teramo, specializzata nella produzione di arredamenti ceramici per l'arredo bagno e cucina. Nasce nel 2003 dall'unione di più maestranze specializzate nel settore della modelleria ed è ha nel tempo sviluppato elevati standard qualitativi che le hanno permesso di diventare in poco tempo partner tecnico dei più importanti marchi mondiali e di collaborare con importanti designer del settore quali Massimo Iosa Ghini, Antonio Bullo, Nilo Gioacchini, Dal Lago Associati, comprovandone l'elevata qualità e competenza acquisita nel tempo.

L'azienda ha una gamma di prodotti estremamente differenziata e personalizzabile tali da ottenere tramite le varie combinazioni di colori e smalti a più di cento prodotti diversi. Altra caratteristica che ha favorito l'espansione commerciale riguarda l'internalizzazione di tutti i processi produttivi, a cominciare dalla progettazione in CAD 2d/3d e alla prototipazione, la successiva creazione dei modelli di stampaggio prima della produzione in serie fino ad arrivare all'assistenza tecnica post vendita e door to door. La presenza di expertise complete e la supervisione tout-court dei vari aspetti produttivi sono fattori che hanno contribuito ad accrescere la fiducia di aziende committenti esterne e coinvolgere altre realtà del settore ad espandere il proprio ventaglio di prodotti, pur non specializzate nel campo della modelleria ceramica, confidenti di potersi avvalere di un partner industriale affidabile in grado di fornire una risposta su misura rispetto alle singole esigenze.

## 2.2 IL PROCESSO PRODUTTIVO DEI MATERIALI CERAMICI

### 2.2.1 LA MATERIA PRIMA

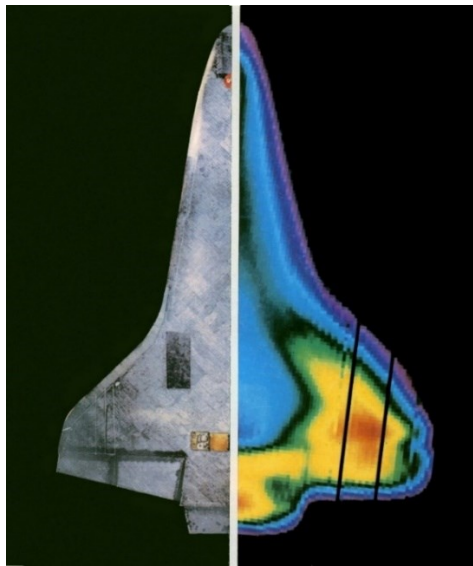
La ceramica è un materiale ottenuto a partire da polveri di origine non metallica presenti solitamente in natura come composti malleabili. la cui forma finale viene conferita a freddo tramite processi di formatura e successivamente questa viene resa irreversibile tramite un processo di solidificazione per trattamento termico ad alta temperatura. Immodificabile.

L'origine delle polveri è di natura non organica, ottenuta per estrazione e successiva triturazione di rocce. La specifica composizione degli elementi utilizzati conferisce determinate caratteristiche fisiche e meccaniche del composto, definendone quindi il settore di utilizzo in base alle proprietà acquisite. Per convenzione tutti i materiali ceramici di destinazione industriale possono essere suddivisi in due macrocategorie, distinti tra materiali di uso "tradizionale" e di "uso avanzato".

Vengono definiti materiali ceramici tradizionali quelli composti da elementi presenti naturalmente allo stato puro, quali l'argilla, un composto di natura sedimentaria, seguita da silice e feldspati, di origine magmatica o metamorfica. Data l'abbondanza di questi materiali in natura e le discrete caratteristiche meccaniche dei prodotti ottenibili questi si prestano all'utilizzo nel settore edilizio o di arredo domestico.

Diversamente dal precedente caso, i materiali ceramici avanzati sono prodotti da materiali di sintesi al fine di ottenere un composto ad alta purezza di carburi o ossidi. A seconda dell'utilizzo e degli elementi che li costituiscono questi possono conferire elevate capacità sia di resistenza a calore che a sollecitazioni meccaniche, specie abrasive, ed elettromagnetiche[7]. Ne consegue che questi materiali abbiano un vasto impiego nei settori ad alta tecnologia, dove il costo e lo sviluppo di componenti

sofisticate e specifiche sia giustificato alle condizioni di utilizzo estreme. Possono essere citati come esempio alcuni importanti impieghi quali per esempio l'uso delle ceramiche refrattarie isolanti per il rivestimento di reattori termonucleari o nel settore della difesa, dove l'elevata durezza e resistenza abrasiva di tali materiali viene sfruttata per la creazione di corazze balistiche per proteggere e salvaguardare l'integrità di veicoli di trasporto truppe o di materiali sensibili.



**Figura 2.2.1** L'immagine ad infrarossi mostra le temperature a cui è sottoposto lo scudo termico dello Space Shuttle

Definiti i principali gruppi di appartenenza dei materiali ceramici è possibile approfondire ulteriormente ulteriori sub-gruppi in cui queste possono essere riconosciute. Per coerenza viene quindi approfondita la famiglia delle ceramiche tradizionali, essendo quelle avanzate non rilevanti ai fini dell'argomentazione della tesi trattata.

Definita precedentemente l'origine delle polveri utilizzate, è possibile di conseguenza distinguere i prodotti ottenuti in base alla struttura da queste conferita all'impasto che costituiscono. Tale classificazione può essere basata sulle caratteristiche di colorazione e struttura dell'impasto [8], di cui quest'ultima risulta significativamente importante ai

fini delle proprietà meccaniche dell'oggetto prodotto. Da essa è infatti possibile essere identificate due tipologie di ceramiche: quelli aventi una struttura porosa oppure di natura compatta. Le struttura delle prime è data delle significative percentuali di acqua al proprio interno che, a seguito di un processo di cottura intorno ai 1000 °C[9], generano vapore e conseguentemente formano micro bolle d'aria. I prodotti, di natura e fattezze meno pregiata, vengono impiegati generalmente per la produzione di laterizi ad uso edile o per la creazione di vasellame in terracotta.

I materiali a pasta compatta vengono ottenuti tramite cottura a temperature significativamente più elevate rispetto al caso precedente, permettendo di fondere completamente l'impasto facendo evaporare il vapore presente all'interno[9]. Ne risulta quindi un materiale più pregiato con caratteristiche ideali per elementi di arredo quali porcellane decorative o per la fabbricazione di sanitari.

### Ciclo di produzione della ceramica

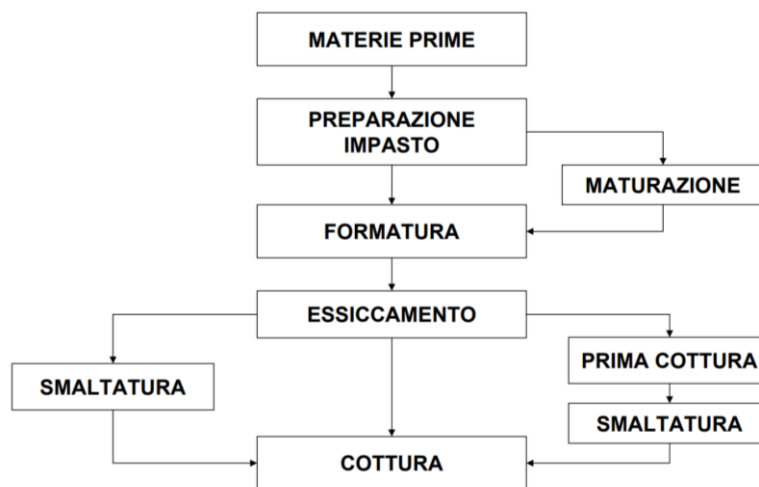


Figura 2.2.3 Diagramma schematico del ciclo produttivo per materiali ceramici

### 2..2.2 LA PREPARAZIONE DELL'IMPASTO

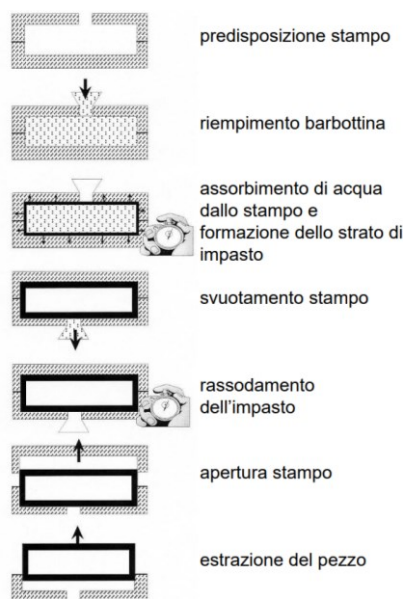
Al fine di ottenere un composto adeguatamente omogeneo vengono attuati processi di raffinazione al fine di ottenere specifiche caratteristiche di omogeneità e umidità. Il primo passaggio di tale lavorazione concerne nella macinazione allo scopo di ridurre ulteriormente le dimensioni delle polveri iniziali fino al raggiungimento granulometrie necessarie alla creazione dell'impasto. Tale processo può essere effettuato a secco, ovvero con una percentuale di acqua compresa tra il 3-4%, oppure a umido, con quantità di liquido fino a dieci volte superiori, ottenendo un'emulsione sospensoria denominata barbottina. I materiali del primo caso hanno granulometria superiore e sono composti di materiale omogeneo, possono ottenere la forma finale direttamente tramite pressatura, ma risentono di limiti nelle proprietà meccaniche dovute alla dimensione relativamente grossolana dell'impasto. Nel caso di impasti macinati a umido si hanno invece materiali eterogenei difficilmente combinabili e con dimensioni iniziali diverse; ciò comporta la macinazione per ottenere dimensione omogenea. L'ordine di granulometria risulta molto inferiore rispetto al caso precedente, ottenendo quindi una superficie specifica maggiore e di conseguenza una maggiore reattività delle particelle dell'impasto durante la cottura[10]; in caso fossero presenti eventuali impurità inquinanti, è possibile effettuare una setacciatura dell'impasto umido ottenuto.

### 2.2.3 FORMATURA ED ESSICCAMENTO

Analogamente al tipo di impasto ottenuto precedentemente, anche il processo di formatura subisce significative differenze, distinguendo le possibilità tra formatura allo stato secco, plastico o in barbottina. Nel primo caso la modellazione avviene deformando tramite pressione manuale o grazie all'aiuto di utensili la forma del materiale grezzo, come per esempio avviene nella produzione di vasellame artigianale. Nel secondo caso le caratteristiche plastiche dell'impasto vengono sfruttate ai fini del conferimento della forma finale, grazie a sistemi di estrusione, stampatura o pressatura,



come nel caso della produzione di laterizi ad uso edile, prodotti in modo continuo. Per quanto riguarda impasti umidi come la barbotina si procede invece per colaggio in stampi di gesso aventi la geometria complementare cava del prodotto finale con dimensioni leggermente maggiorate al fine di considerare il ritiro dell'impasto a causa dell'assorbimento o evaporazione della componente acquosa. La funzione del gesso, oltre ad essere un materiale economicamente accessibile e facilmente modificabile per la creazione di stampi, ha la funzione di assorbire parzialmente l'umidità della barbotina inserita e contribuire ad un più veloce processo di evacuazione della componente acquosa.



**Figura 2.2.4 Descrizione del processo di formatura e dei relativi passaggi, dalla preparazione dello stampo in gesso fino all'estrazione del prodotto**

Successivamente tale stampo viene posto in un'apposita area a temperatura e umidità controllata per procedere alla funzione di essiccamento, dove viene sottoposta ad un periodo di riposo minimo di circa 24 ore al fine di espellere l'umidità residua all'interno dello stampo e contenuta nell'impasto stesso. Nel caso della produzione di sanitari, considerata la complessità delle geometrie prodotte negli stampi, il processo di essiccamento ha una durata di circa 3 giorni.

## 2.2.4 SMALTATURA E COTTURA

Nella produzione dei sanitari, dopo l'estrazione dallo stampo, all'impasto con forma definitiva viene applicato tramite l'utilizzo di appositi dosatori un rivestimento vetroso trasparente noto come vetrina[11]. Tale composto svolge la mansione di impermeabilizzare il materiale al suo interno e proteggerlo da elementi corrosivi o deteriorativi ambientali, oltre che conferire al prodotto un aspetto igienico vista la funzione svolta.

### Cicli e funzionamento

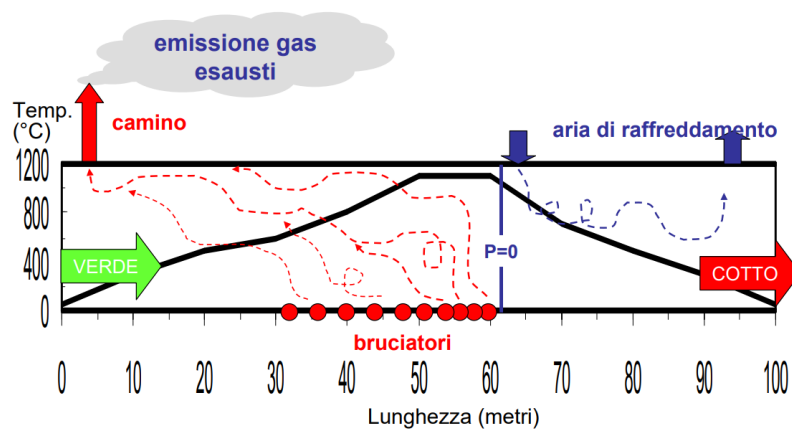


Figura 2.2.5 Diagramma Lunghezza-Temperatura di un ciclo di cottura in un forno lineare "a tunnel"

Per terminare la solidificazione del supporto ceramico e fissare lo smalto applicato il prodotto viene sottoposto ad un processo di cottura finale. Questo procedimento, definito monocottura, è preferito in questo caso rispetto ad un doppio processo relativamente alla solidificazione dell'impasto e successivamente al solo fissaggio e indurimento dello smalto applicato, comportando infatti notevoli risparmi sia in termini di tempo che di spazio impiegato. Il processo di cottura ha una durata di circa 24 ore, durante il quale l'elemento sottoposto al trattamento subisce un riscaldamento graduale fino al raggiungimento della temperatura massima di circa 1300 °C[12], impiegata per

impasti umidi e fini, al fine di eliminare eventuale umidità residua nel supporto ceramico e permettere la fusione dello strato di smalto protettivo. Al fine di permettere una corretta e omogenea cristallizzazione del prodotto questo deve subire un raffreddamento lento e costante, poiché altrimenti potrebbe portare alla fragilità dell'impasto, dando origine a crepe di raffreddamento ed eventuale rottura del componente. A tal scopo vengono impiegati appositi forni rettilinei a ciclo continuo; questi vengono sviluppati in lunghezza, fino a raggiungere i 70-80 metri, e sono dotati di nastro trasportatore al fine di movimentare costantemente gli elementi al proprio interno verso un determinato settore con temperatura specifica. Ciò permette quindi un'ottimizzazione dell'energia impiegata per cuocere il prodotto, utilizzando il calore disperso per portare a temperatura i componenti in ingresso e per permettere un raffreddamento progressivo all'allontanamento dal bruciatore centrale.

## 2.2.5 CONSIDERAZIONI GENERALI SUL PROCESSO PRODUTTIVO

### Fabbricazione dei SANITARI

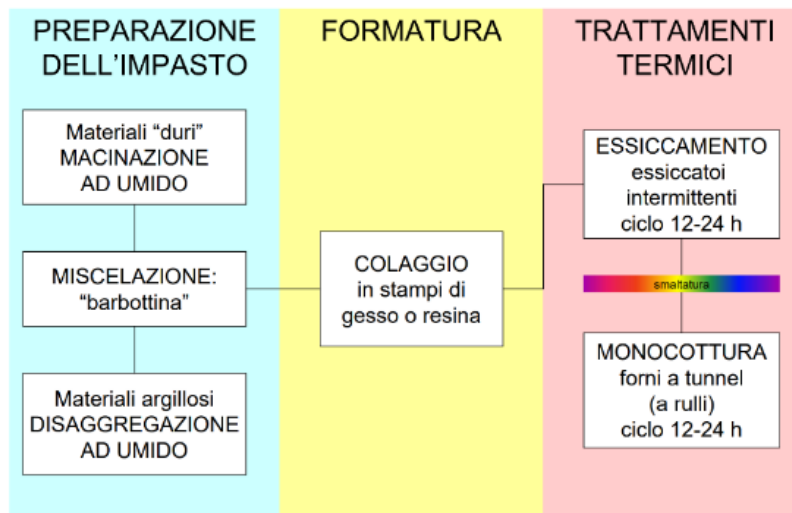


Figura 2.2.6 Schema di un processo produttivo per sanitari. Fonte Università Federico II Napoli

Dal processo appena descritto è possibile definire eventuali criticità che possono comportare la comparsa di difetti nei prodotti ottenuti. Anzitutto si può prevedere come la qualità granulometrica ed omogeneità dell'impasto possono pregiudicare la qualità del prodotto finale, determinandone quindi eventuali porosità o imperfezioni. Anche il processo di formatura ed essiccamento possono portare a difetti di solidificazione dell'impasto a causa della differente umidità di questo in base all'esposizione di particolari punti al gesso dello stampo o all'umidità; per esempio elementi che presentano spessori elevati assieme a pareti sottili i tempi di essiccamento saranno diversi in base al punto preso in considerazione, dovrà pertanto essere studiata sia una geometria dell'oggetto che composizione dello stampo in modo da garantire una perdita di umidità costante su tutti i punti presi in considerazione. Infine è fondamentale considerare a valle di queste informazioni eventuali variazioni dei processi di cottura, determinando la curva termica e gli specifici gradienti di temperatura a cui i prodotti devono essere sottoposti.

### 3. RACCOLTA DATI

La metodologia produttiva approfondita nei capitoli precedenti permette di definire e probabili cause in grado di compromettere l' idoneità o l' integrità dei sanitari prodotti. Verificando di concerto con l'azienda la natura delle informazioni da analizzare e le eventuali alternative non invasive di archiviazione, si è deciso di seguire due diverse modalità in relazione alla natura e alla frequenza di rilevazione, distinguendo dati di natura ambientale, quali temperatura e umidità, da quelli di natura fisica come i difetti specifici riscontrati durante il controllo qualità e le composizioni dell' impasto.

Per la prima categoria è stato previsto di installare rilevatori igrometrici e sensori termici in specifici punti della linea produttiva e nell'ambiente circostante, considerando sia le caratteristiche climatiche interne che esterne all'edificio. Tuttavia, al momento della trascrizione di questo elaborato non è stata effettuata l'installazione dei sistemi di misurazione in attesa di un più approfondito studio delle condizioni termotecniche dell'edificio effettuato in coordinamento con altri dipartimenti dell'università ed interpellando esperti in materia termotecnica. Pertanto nei passaggi successivi non verranno presi in considerazione i sopra citati parametri ambientali per l'elaborazione delle informazioni acquisite, rimandando l'analisi di questi ad un successivo ed eventuale approfondimento. Verranno tuttavia predisposte le tabelle di archiviazione e i programmi di elaborazione al fine di inserire tali informazioni senza riprogrammare o modificare significativamente il lavoro svolto in precedenza.

Lo studio in questione si focalizza quindi sulla seconda categoria di informazioni, riguardanti solamente i difetti riscontrati nei prodotti al termine del ciclo produttivo, in correlazione con la composizione degli impasti utilizzati. A tal fine sono state impiegate documentazioni già in possesso dell'azienda, quali schede lavoro dei reparti di controllo qualità e i documenti relativi ai lotti degli impasti utilizzati; entrambe queste informazioni sono state archiviate secondo un ordine temporale.

Per lo studio effettuato è stato preso come riferimento un arco di tempo di un anno circa, dal 13 Maggio 2021 al 29 giugno 2022. La documentazione fornita viene distinta tra prime cotture e cotture di ripasso, essendo le seconde considerate come un lotto produttivo a sé stante.

Le schede lavoro vengono compilate in sito quotidianamente al termine di ogni controllo qualità. Il personale predisposto si occupa di identificare tramite un'accurata analisi visiva eventuali difetti presenti, descrivendone tipologia e quantità presenti. Al fine di accelerare e schematizzare il processo l'azienda ha predisposto uno schema a tabella, riportante nelle righe i singoli prodotti e nelle colonne le varie tipologie di difetti riscontrabili assieme al numero di elementi idonei, scartati o rimandati ad una cottura di ripasso correttiva.

Data	Prima cottura													Cottura di ripasso			Forno Piccolo		
	1. Spillatura	2. Puntì colorati	3. Granul' flosa	4. Crepe interna	5. Crepe esterna	6. Crepe alla base	7. Difetti smalto	8. Macchie verdi	9. Defornaz	10. Logo	11. Movimen L	12. Attaccati	13. Bolle		Buoni	Ripasso	Scarto		
30/5/21																			
Azi Bidet																			
Azi Lavabo																			
Azi Wc																			
Bef																			
Bis																			
Blat																			
Bobo S/P																			
Bobo S/T																			
EyeEye																			
Chim																			
Clo 380																			
Clo 715																			
Drag																			
Dudu 650																			
Expo Base 1200																			
Expo Base 600																			
Expo Lav.																			
Ger																			
Hera																			
Juno bidet																			
Juno Wc																			
Lil' Bidet																			
Lil' Lav. 100																			
Lil' Lav. 70																			
Lil' Lav. 62																			
Lil' Wc																			
Livia 500																			
Livia 600																			
Livia 380																			
Ode																			
Pit																			
Tolo S/P																			
Tolo S/T																			
UB wall hung																			
Ulm 33																			
Ulm 60																			
Zazu 500																			
Zazu 600																			
Zazu 800																			
Zazu C-500																			
Apron 30"							X										X		
Apron 33"																	X		
Apron 36" SB																			
Apron 36" DB																			

Figura 3.1 Esempio di scheda lavoro per un lotto giornaliero

Nei documenti forniti inoltre possono essere presenti informazioni integrative sui modelli ispezionati come la tipologia e il colore di smalto utilizzato oltre che indicazioni su difetti non compresi tra quelli elencati, come l'esplosione di un elemento durante la cottura o rotture irreversibili. Inoltre deve essere considerata la variabilità dei simboli presenti nelle varie schede, attribuibili all'arbitrarietà e preferibilità del personale incaricato alla supervisione. Ne consegue una difficoltà nel comprendere appieno le informazioni fornite, oltre che un'impossibilità nel semplificare il successivo trasferimento dei dati sui programmi informatici necessari allo studio.

Di conseguenza sono state valutate diverse opzioni al fine di eliminare il processo di trascrizione manuale e ricevere informazioni automaticamente in tempo reale,

confrontandone la fattibilità rispetto all'ambiente di lavoro e alla facilità di apprendimento per il personale di linea. E' stato valutato in particolare l'uso di un programma in formato csv o xls<sup>2</sup> con accesso condiviso in cloud accessibile tramite dispositivi tablet forniti agli addetti di controllo. Tale soluzione è stata poi scartata perché considerata poco pratica dal personale incaricato, aumentando i tempi di trascrizione e di conseguenza anche del processo di controllo. Le condizioni di lavoro e i potenziali danni accidentali quali urti o graffi rendono questi dispositivi non idonei all'ambiente di lavoro, inoltre i guanti di sicurezza utilizzati dal personale risultano incompatibili con gli schermi touch screen e la presenza di residui argillosi o polveri possono compromettere le relative componenti elettroniche interne. In aggiunta è stato riscontrato lo scetticismo del personale specializzato verso l'adozione di tale soluzione tecnologica, motivandone il dispendio oneroso di tempo impiegato per l'aggiornamento alle nuove procedure e ai nuovi dispositivi di trascrizione, più elaborate e meno rapide rispetto alla trascrizione cartacea.

Se la scelta di utilizzo del materiale cartaceo è risultata non modificabile al fine di minimizzare l'invasività nel reparto la ricerca, di una soluzione di riduzione dei tempi di trascrizione

Se la metodologia di raccolta dei dati in loco è risultata vincolata dalla scelta di minimizzare l'invasività nei processi del reparto di controllo qualità, una soluzione migliorativa e celere è stata dunque da cercarsi nel processo di trascrizione.

La valutazione delle opzioni a disposizione è stata effettuata confrontando in primo luogo il tempo necessario all'implementazione di ogni sistema e il relativo utilizzo rispetto alla trascrizione manuale di tutte le schede lavoro fornite. Tale scelta è stata necessaria in quanto l'azienda committente ha imposto un limite temporale di 14 giorni lavorativi per il trasferimento dei dati in formato digitale.

E' stata anzitutto verificata la possibilità di utilizzare software open source di riconoscimento ottico dei caratteri, in grado di convertire simboli e lettere scritte

---

<sup>2</sup> I formati sopra citati si riferiscono a file per fogli di calcolo tipo Excel o Google spreadsheet



manualmente in testo digitale. Gli esiti hanno avuto purtroppo riscontro negativo poiché i programmi testati non sono stati in grado di gestire la degradazione del testo o più semplicemente di comprendere le differenze grafiche dei simboli impiegati[13], essendo questi scritti da persone diverse.

Non essendo quindi possibile delegare la trascrizione a programmi specifici si è optato quindi per un processo manuale, assistito dall'utilizzo di un'interfaccia predisposta su Excel associata ad un algoritmo specificatamente progettato per aggiornare in automatico i dati in un unico foglio di lavoro.

### ***3.1 IMPOSTAZIONE DELLE TABELLE SU EXCEL***

L'impostazione tabellare organizzata su Excel ha lo scopo di riportare in modo organico e comprensibile tutte le informazioni riportate sulle schede di lavoro fornite attribuibili ad ogni singolo prodotto. L'immagine 3.2 mostra la configurazione finale della tabella, distinguendo in colonne tutte le tipologie di informazioni presenti: partendo da destra si hanno nella colonna A dati relativi al tipo di cottura del lotto, dove viene specificato se il prodotto o lotto ha subito un trattamento di prima cottura o proviene da un secondo ciclo correttivo di cottura di ripasso. Nella colonna B e C vengono indicate le date di entrata e uscita del prodotto dal ciclo produttivo, mentre nella colonna D viene riportata la data di riferimento del controllo eseguito.

Nelle colonne da E a S vengono invece specificati dapprima il nome dell'articolo ispezionato, seguito dalle tipologie di difetti riscontrati, quali per esempio bolle, crepe interne o esterne, difetti di smaltatura, macchie o deformazioni di vario genere. La colonna S non riporta dicitura poiché viene lasciata libera per difetti vari non specifici. Le colonne da U a Y riportano le quantità assolute e le relative percentuali dei prodotti considerati buoni o passabili, di quelli necessitanti un ciclo di ripasso e infine di quelli scartati.

Nelle colonne successive vengono riportate le tipologie di impasto e le temperature di controllo di cottura e dell'ambiente esterno. Riguardo queste ultime, come spiegato in precedenza, non è stato possibile predisporre la strumentazione ed effettuare per tempo le rilevazioni necessarie, pertanto nei passaggi e nelle analisi successive non verrà considerata questa sezione della tabella.

Articolo	1. Spill	2. Pun	3. Grai	4. Crep	5. Crep	6. Crep	7. Dife	8. Mac	9. Defe	10. Log	11. Mc	12. Att	13. Bol	Altro	Buoni

Scarto	2a	%2a	NOTE	mettere il tipo di impasto_t=4	mettere il tipo di impasto_t=5

Figure 3.2 e 3.3 Impostazione delle tabelle in Excel per la raccolta dei dati dove vengono riportati, rispettivamente alle immagini, le informazioni relative ai difetti e alla composizione degli impasti

### **3.2 CREAZIONE DELL'INTERFACCIA E IMPLEMENTAZIONE TRAMITE CODICE**

#### **VBA**

E' stata anzitutto creata nello stesso file Excel una tabella che riprende il layout delle schede lavoro fornite dall'azienda, così da facilitarne la trascrizione e il riconoscimento della posizione delle celle dove inserire i dati. Ad essa è stato poi associato un programma in Visual Basic capace di selezionare i prodotti che presentano difetti e copiarli sul foglio di lavoro finale. Il risultato ottenuto ha permesso quindi di semplificare il processo alla trascrizione dei soli difetti nelle rispettive celle sull'interfaccia predisposta, delegando i compiti ripetitivi di copiatura e impostazione visiva direttamente al software.

Infine, verificando e confrontando la modalità di trascrizione manuale rispetto al programma automatico predisposto, si è ottenuto un risparmio medio di tempo di circa 4 minuti per foglio, portando ad un risparmio complessivo del 60% e permettendo di terminare e consegnare il file completo largamente prima dei termini previsti.

#### **3.2.1 VISUAL BASIC E FUNZIONI MACRO IN EXCEL**

Il Visual Basic for Applications (VBA), già implementazione di Visual Basic 6.0, è un linguaggio di programmazione a eventi elaborato e implementato da Microsoft allo

scopo di fornire la possibilità agli utenti finali la possibilità di creare strumenti personalizzati senza necessariamente avere accesso a conoscenze di linguaggi di programmazione a basso livello<sup>3</sup>. L'utilizzo di tale codice in Excel permette la creazione di funzioni personalizzabili, l'automazione dei processi, di finestre di dialogo o la manipolazione di strumenti e menu preesistenti.

Tale intervento è possibile grazie ad un'ambiente API<sup>4</sup> associato allo stesso file in cui espandere e sviluppare nuove istruzioni. Il codice ottenuto prende il nome di Macro<sup>5</sup>, e può essere utilizzato sia come funzione personalizzata direttamente dalle celle attive oppure attivata tramite accesso rapido, utilizzando strumenti come tasti virtuali nel menu o direttamente nel foglio di lavoro.

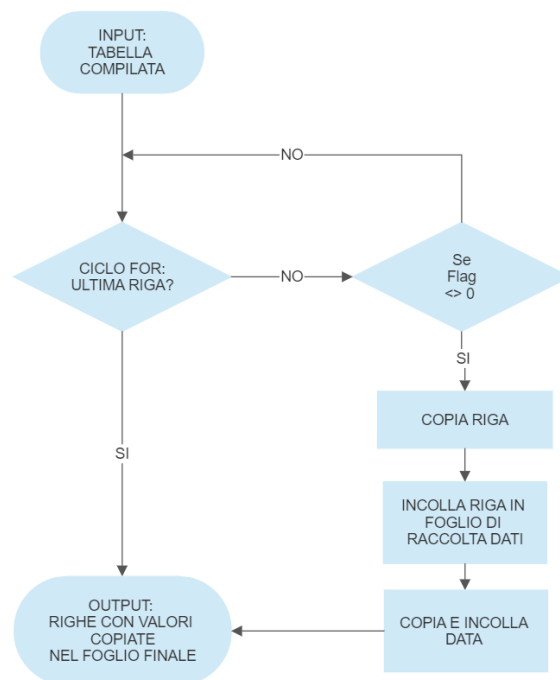
Al fine di eseguire le operazioni di filtro e copiatura delle informazioni richieste, l'algoritmo del codice presenta un primo costrutto iterativo a cui ne viene annidato uno condizionale. Il primo comando, definito ciclo iterativo o FOR, ha lo scopo di eseguire ripetutamente la porzione di programma ad esso subordinato per un determinato numero di volte. Il secondo, definito struttura condizionale o IF, ha lo scopo invece di controllare il flusso di dati in esecuzione rispetto alla verifica di specifiche condizioni logiche fornite in precedenza dall'utente o dal programmatore.

---

<sup>3</sup> Viene definito linguaggio di basso livello se la sintassi di programmazione non si discosta significativamente dal linguaggio umano. Viceversa i linguaggi ad alto livello presentano caratteri o comandi sintetici molto distanti dalla grammatica reale

<sup>4</sup> API: Interfaccia di Programmazione delle Applicazioni

<sup>5</sup> Deriva da Macro Istruzione. Indica il percorso analitico o algoritmo che deve seguire l'inserimento di un dato input o comando e sostituirlo con il relativo output.



**Figura 3.4 Diagramma di flusso dell’algoritmo utilizzato per il programma Macro in Visual Basic al fine della trascrizione automatica dei dati inseriti tramite interfaccia**

In questo caso viene definito per il ciclo For un range di esecuzione corrispondente al numero di righe della tabella di interfaccia. Al fine di predisporre il programma a modifiche future per l’inserimento di ulteriori articoli è stata utilizzata la variabile numrows, non definita a priori ma associata al comando rows.count che si occupa del conteggio delle righe non vuote.

Per quanto riguarda il costrutto condizionale viene invece posta come condizione di verifica la presenza o meno di valori nella riga analizzata. A tale scopo è stata creata una apposita variabile, nominata FLAG, allo scopo di indicare istantaneamente il numero di righe riportanti difetti; ciò ha permesso di semplificare i passaggi dell’algoritmo progettato sfruttando comandi e potenzialità delle funzioni built-in di Excel. Per tale scopo è stata utilizzata la funzione CONTA.VALORI in grado di restituire il numero di celle non vuote in un intervallo corrispondente ad ogni riga in cui è presente un articolo. Quindi nel momento in cui viene compilata la tabella e vengono

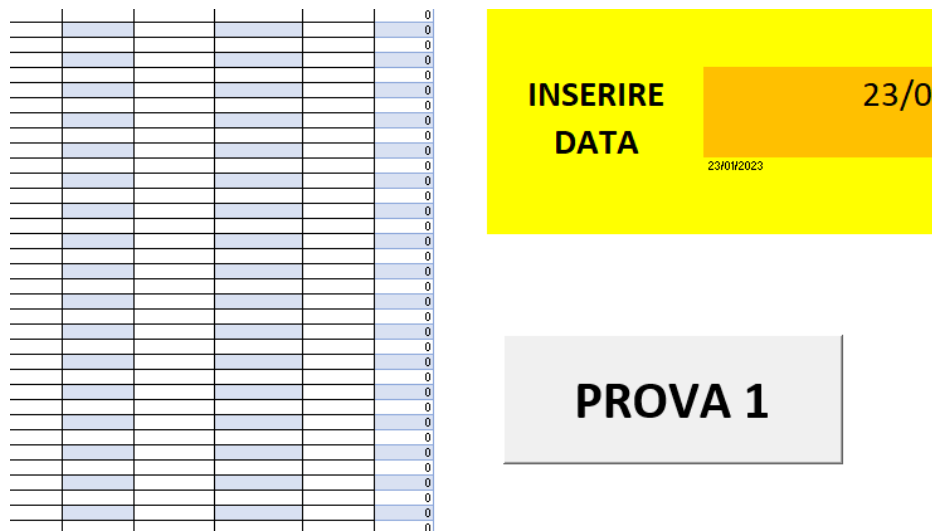
riportati i difetti riscontrati, il valore FLAG relativo ad ogni articolo modifica istantaneamente il proprio valore, inizialmente nullo. La condizione di verifica del costruito if verifica infine se tale variabile risulta diversa da zero, e in caso affermativo procede con la copia della relativa riga nel foglio di raccolta dati riportando assieme anche la data di effettuazione del controllo.

```
Sub Macro1()  
|  
Application.ScreenUpdating = False  
  
Dim x As Integer  
Dim UltimaRiga As Long  
  
' Range("A2", Range("A2").End(xlDown)).Rows.Count  
numrows = Range("a2", Range("a2").End(xlDown)).Rows.Count  
Range("a2").Select  
  For x = 2 To numrows  
  
    Sheets("prova").Select  
  
    If Cells(x, 21).Value <> 0 Then  
      ActiveSheet.Range(Cells(x, 1), Cells(x, 20)).Select  
      Selection.Copy  
      Sheets("DatiCottureRipasso").Select  
      UltimaRiga = ActiveSheet.Range("F1").End(xlDown).Row + 1  
      ActiveSheet.Range("f" & UltimaRiga).Select  
      ActiveSheet.Paste  
      Sheets("prova").Select  
      ActiveSheet.Range("AA67").Select  
      Selection.Copy  
      Sheets("DatiCottureRipasso").Select  
      ActiveSheet.Range("e" & UltimaRiga).Select  
      Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
        :=False, Transpose:=False  
  
    End If  
  
  Next  
End Sub
```

**Figura 3.5 Codice di programmazione Visual Basic impiegato nella trascrizione dei dati**

Per quanto concerne invece l'esecuzione del programma è stato predisposto un link scorciatoia associato un apposito tasto virtuale sul foglio di lavoro, in modo da rendere intuitiva e pratica l'istruzione verso l'utente, che altrimenti dovrebbe cercare manualmente la macro nel file ed eseguirla.

La soluzione adottata ha permesso infine di eliminare i compiti manuali e ripetitivi svolti durante la trascrizione dei dati riducendo significativamente il tempo impiegato allo svolgimento di tale mansione. Il programma progettato si presta in aggiunta ad eventuali e successive espansioni in caso di future integrazioni di informazioni nel foglio di lavoro, quali per esempio la composizione degli impasti o dei dati ambientali.



**Figura 3.6** Tasto rapido Short-Cut di esecuzione della macro progettata

## 4. STATISTICHE GENERALI

Completata la trascrizione dei dati si è andati dapprima ad effettuare delle analisi statistiche allo scopo di fornire informazioni indicative sugli articoli prodotti e la frequenza con cui questi presentano difetti. Sono state analizzate diverse voci al fine di ottenere una visione completa, distinguendo per ogni voce i prodotti di prima cottura da quelli ripassati.

Viene analizzato inizialmente il numero totale di elementi difettosi per ogni articolo, distinguendone poi la quantità di prodotti scartati e di quelli necessitanti di un ripasso in linea.

Successivamente viene estrapolata in modo analogo la frequenza assoluta per ogni tipologia di difetto riscontrata, analizzata prima in termini assoluti e successivamente deducendone i prodotti scartati e ripassati a causa di ogni difformità tra quelle elencate. Allo stesso modo infine viene eseguito il controllo statistico rispetto alla tipologia di impasto impiegato.



#### 4.1 FREQUENZA COMPLESSIVA DEI PRODOTTI DIFETTOSI

FREQUENZA COMPLESSIVA PRODOTTI						
PRODOTTI	TOTALE		prodotti scartati		prodotti ripassati	
	prime cotture	cotture ripasso	prime cotture2	cotture ripasso3	prime cotture4	cotture ripasso5
Apron 33"	194	0	69	0	158	0
Biis	165	21	13	2	64	0
Apron 30"	147	0	54	0	112	0
Clo 715	133	73	32	26	92	33
Blat	132	9	21	0	56	2
Juno WC	127	21	45	9	72	10
Apron 36" DB	119	0	60	0	82	0
Clo 380	102	52	10	7	54	14
Juno Bidet	96	14	41	7	33	3
Azi WC	95	11	42	2	59	5
Apron 36" 5B	85	0	30	0	55	0
ORCHARD 36"	84	0	48	0	37	0
ETRE 33	81	57	26	40	68	26
ETRE 30	80	55	21	27	57	16
ETRE 36 DB	79	55	30	32	59	28
ETRE 36 5B	78	46	30	25	45	11
Azi Bidet	76	39	21	2	24	2

**Tabella 4.1** Tabella riportante la frequenza complessiva dei difetti riscontrati per ogni articolo.

In rosso, arancione e giallo vengono contrassegnati in ordine decrescente i tre prodotti maggiormente danneggiati per ogni categoria.

Nella tabella 4.1 viene mostrato nelle prime due colonne il numero di volte complessivo in cui viene citato un articolo che presenta difetti. Ciò permette di verificare immediatamente quali siano i prodotti che all'uscita dalla linea di produzione risultano essere più propensi a presentare errori, permettendo di focalizzare l'attenzione sul processo produttivo di questi. Ne viene dedotto infatti che gli articoli maggiormente difettosi siano rispettivamente l'Apron 33", il Biis e l'Apron 30" per le prime cotture e Clo 715, Etre 33" e Etre 30" per le cotture di ripasso.

Nella seconda e terza colonna viene considerata la quantità assoluta di prodotti scartati, permettendo di identificare e mettere in relazione la quantità di prodotti eliminati rispetto a quelli complessivamente difettosi. Ne risulta un dato non dissimile dal caso totale, che vede rispettivamente per le prime cotture e le cotture di ripasso gli articoli della serie Apron e Etre tra le più comuni.

A finire vengono identificati analogamente al caso precedente gli articoli necessitanti di un ulteriore ciclo di ripasso, con risultati analoghi ad eccezione dell'articolo Clo715,

che presenta in questo caso il terzo prodotto per quantità più comunemente ripassato tra le prime cotture e il primo tra gli articoli già precedentemente ripassati.

A conclusione di questa prima analisi si può quindi sostenere quantitativamente che le serie di articoli più suscettibili a presentare difetti siano la serie Apron ed Etre, oltre che l'articolo Clo 715. Seppur tale dato non fornisca informazioni relative agli elementi causanti tali difetti, permette però di focalizzare l'attenzione sugli articoli quantitativamente più difettosi al fine di approfondirne in modo mirato la ricerca di particolari soluzioni ed ottenere sensibili miglioramenti al fine di diminuire più prodotti scartati possibili.

Per quanto riguarda l'esposizione dei numeri assoluti rispetto a dati percentuali tale soluzione è stata preferita per una ragione pratica. Infatti il conteggio degli articoli è stato effettuato considerando soltanto il numero di volte in cui questi sono stati trascritti nella raccolta dati, trascurando i dati numerici contenuti nelle singole celle. Il rapporto percentuale perde quindi di significato perché secondo i dati qui analizzati la percentuale di prodotti scartati non sarebbe mai complementare rispetto a quelli ripassati. Infatti i numeri riportati non si riferiscono alle quantità assolute prodotte ma solo alla frequenza in cui gli articoli presentano dei difetti. E' stato preferito quindi attuare un'identificazione sommaria al solo scopo di identificare gli articoli maggiormente coinvolti, rimandando una più accurata ed efficace identificazione in termini numerici assoluti direttamente ai software incaricati di redigere le regole associative, in modo da delegare questa attività dispendiosa in termini di tempo ad un software capace di analizzare più efficacemente e velocemente tutti i dati presenti.

## 4.2 DIFETTI PER TIPOLOGIA DI PRODOTTO

PRODOTTI	TOT	DIFETTO	FREQ MAX	FREQ MAX %	PRODOTTI	TOT	DIFETTO	FREQ MAX	FREQ MAX %
Apron 33"	364	13. Bolle	85	23%	Clo 715	80	3. Grana/ fibra	22	28%
Apron 30"	232	13. Bolle	62	27%	ETRE 33	78	4. Crepa interna	29	37%
Apron 36" DB	187	13. Bolle	38	20%	ETRE 36 DB	70	4. Crepa interna	22	31%
Clo 715	179	2. Punti colorati	71	40%	ETRE 30	49	4. Crepa interna	18	37%
ETRE 33	161	2. Punti colorati	40	25%	ETRE 36 SB	48	5. Crepa esterna	13	27%
Juno WC	133	13. Bolle	51	38%	Clo 380	23	3. Grana/ fibra	7	30%
ETRE 36 DB	131	4. Crepa interna	30	23%	Juno WC	20	13. Bolle	7	35%
ETRE 30	128	2. Punti colorati	30	23%	Juno Bidet	12	13. Bolle	3	25%
Azi WC	112	13. Bolle	45	40%	ByeBye	7	2. Punti colorati	5	71%
ETRE 36 SB	98	2. Punti colorati	21	21%	Lili WC	5	4. Crepa interna	2	40%
ORCHARD 36"	97	6. Crepa alla base	23	24%	Livia 600	5	13. Bolle	2	40%
Apron 36" SB	96	13. Bolle	30	31%	Pit	5	9. Deformazione	2	40%
Blat	89	2. Punti colorati	27	30%	Azi WC	4	13. Bolle	3	75%
Biis	87	2. Punti colorati	30	34%	Azi Bidet	4	3. Grana/ fibra	1	25%
Clo 380	74	2. Punti colorati	33	45%	Chim	4	7. Difetti smalto	2	50%
Juno Bidet	72	13. Bolle	17	24%	BIDET CLO	3	5. Crepa esterna	1	33%
Bel	56	2. Punti colorati	19	34%	CLO 600	3	3. Grana/ fibra	1	33%
Azi Bidet	47	13. Bolle	17	36%	SINK 36	3	3. Grana/ fibra	1	33%
Chim	28	2. Punti colorati	6	21%	Zazu 600	3	2. Punti colorati	1	33%
Pit	28	2. Punti colorati	15	54%	Ode	2	4. Crepa interna	2	100%
Lili Bidet	25	13. Bolle	11	44%	Biis	2	4. Crepa interna	1	50%
Clo 70	24	1. Spillatura	7	29%	Lili Bidet	2	2. Punti colorati	1	50%
Ode	22	4. Crepa interna	10	45%	Blat	2	2. Punti colorati	1	50%
Lili Lav. 62	21	2. Punti colorati	8	38%	DRAG	2	3. Grana/ fibra	1	50%
DRAG	20	2. Punti colorati	13	65%	DUDU 650	2	3. Grana/ fibra	1	50%
Azi Lavabo	18	13. Bolle	4	22%	Hera	1	4. Crepa interna	1	100%
ByeBye	18	2. Punti colorati	11	61%	Azi Lavabo	1	5. Crepa esterna	1	100%
Lili WC	18	13. Bolle	7	39%	BIDET CLOS	1	13. Bolle	1	100%
Zazu 800	14	8. Macchie verdi	4	29%	Expo Base 60	1	11. Moviment.	1	100%
Lili lav.70	10	13. Bolle	3	30%	Expo Lav.	1	2. Punti colorati	1	100%
Livia 600	10	2. Punti colorati	3	30%	Lav Ub rigat	1	6. Crepa alla base	1	100%
Zazu 600	10	2. Punti colorati	5	50%	Lili Lav. 62	1	2. Punti colorati	1	100%
<b>TOTALE DIFETTI</b>	<b>2738</b>	<b>2. Punti colorati</b>	<b>545</b>	<b>20%</b>	<b>TOTALE DIFE</b>	<b>453</b>	<b>4. Crepa interna</b>	<b>100</b>	<b>22%</b>

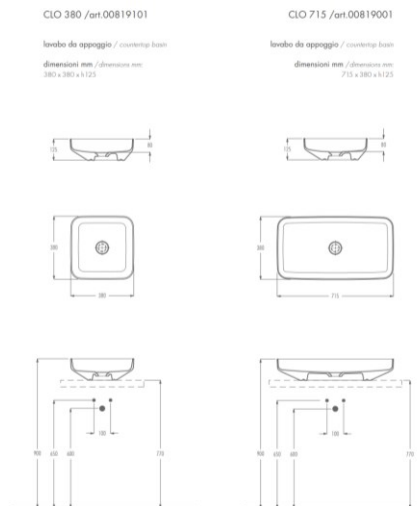
**Tabelle 4.2 e 4.3 Tipologia di difetti maggiormente riscontrati per ogni articolo e rispettiva percentuale, relativamente alle prime cotture e alle cotture di ripasso.**

La seguente analisi si focalizza sulla frequenza con vengono a manifestarsi le singole tipologie di difetto in relazione ad ogni articolo prodotto. Per ognuno di questi ultimi è stato poi calcolato il totale dei difetti riscontrati ed è stato identificato quello più comune, esplicitandone sia il valore in termini assoluti che percentuali. I risultati ottenuti confermano quanto già affermato nel paragrafo precedente, identificando tra i primi quattro articoli per le prime cotture e per le cotture di ripasso rispettivamente gli articoli della serie Apron ed Etre assieme al Clo 715. In questo caso però è possibile identificarne la difformità più comunemente riscontrata in ciascuno di questi prodotti. Per la serie Apron è stata identificata una maggior propensione al manifestarsi di bolle superficiali a fine cottura, nei prodotti della serie Etre vengono trovate prevalentemente crepe interne mentre il Clo 715 presenta grane o fibre. Tali difetti rappresentano anche in rapporto rispetto al totale valori percentuali elevati compresi tra il 23-40% per le prime cotture e tra il 27-37% per le cotture di ripasso. In questo caso vengono presi in

considerazione i valori con numero totale di difetti relativamente alto al fine di considerare solo le variazioni di difetti assolute sensibilmente elevato. E' stata effettuata poi un'analisi inversa in grado invece di definire dai difetti relativi ai singoli articoli quelli nel complesso più comuni. La comparsa di punti colorati è risultata tra tutti l'elemento prevalentemente riscontrato in termini assoluti, venendo riportato 545 volte, pari al 22% del totale.

Le informazioni ottenute permettono di identificare ed intervenire relativamente ai difetti maggiormente riscontrati e permettono di risalire alle cause che ne hanno causato la comparsa, quali che siano imputabili alle forme o alle tecniche produttive utilizzate.

E' possibile per esempio dedurre che le particolari caratteristiche di forma degli articoli analizzati possono essere all'origine dei difetti riscontrati. Per esempio si può ipotizzare la non corretta ed uniforme applicazione dello smalto all'origine della comparsa di bolle nel prodotto Apron finito, oppure che la presenza di angolature o spigoli negli articoli della serie Etre possono causare tensioni residue durante la fase di cottura e solidificazione dell'impasto, dando origine a crepe interne.



## 33" APRON SINGLE BOWL

## Specifications



### Apron Front

**Outside Cabinet:** 36"

**Bowl Depth:** 9-1/4"

**Front Apron Depth:** 10"

**Rim Thickness:** 1-1/2"

**Cutout Size:** Custom installation. Use sink as template.

### Actual Ship Weight:

53 lbs - Note: Cannot be shipped UPS

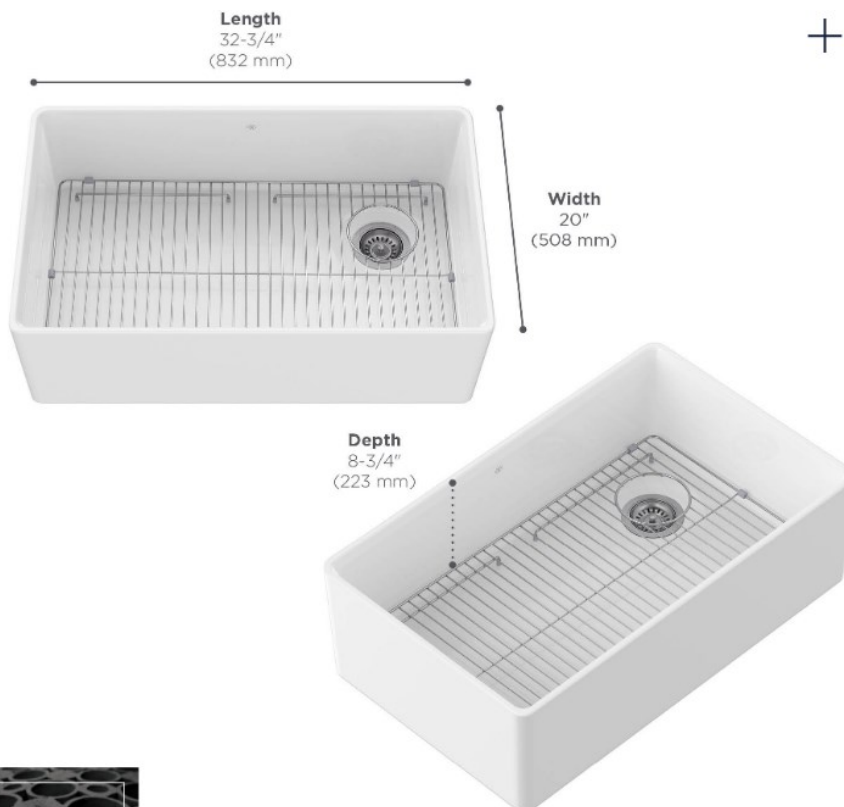


Figure da 4.1 a 4.3 Immagini e relative dimensioni rispettivamente degli articoli Clo 715, Apron 33" ed Etre 30"

### 4.3 DIFETTI PER PRODOTTI SCARTATI

PRODOTTI	TOT	DIFETTO	FREQ. MAX	Colonna1	PRODOTTI	TOT	DIFETTO	FREQ. MAX	Colonna1
Apron 33"	173	4. Crepa interna	34	20%	ETRE 33	64	4. Crepa interna	27	42%
Apron 30"	125	13. Bolle	33	26%	ETRE 36 DB	52	4. Crepa interna	19	37%
Apron 36" DB	120	4. Crepa interna	28	23%	ETRE 30	37	4. Crepa interna	18	49%
ETRE 33	78	4. Crepa interna	17	22%	ETRE 36 SB	39	5. Crepa esterna	13	33%
Azi WC	72	13. Bolle	18	25%	Clo 715	49	3. Grana/ fibra	11	22%
Juno WC	71	5. Crepa esterna	26	37%	Juno WC	13	13. Bolle	4	31%
ORCHARD 36"	71	4. Crepa interna	19	27%	Juno Bidet	11	13. Bolle	3	27%
ETRE 36 DB	66	4. Crepa interna	20	30%	Lili WC	4	4. Crepa interna	2	50%
Clo 715	65	5. Crepa esterna	18	28%	Ode	2	4. Crepa interna	2	100%
ETRE 36 SB	55	4. Crepa interna	13	24%	Biis	2	4. Crepa interna	1	50%
ETRE 30	52	4. Crepa interna	10	19%	Lili Bidet	1	4. Crepa interna	1	100%
Juno Bidet	47	9. Deformazione	15	32%	Azi WC	1	4. Crepa interna	1	100%
Apron 36" SB	46	6. Crepa alla base	12	26%	Clo 380	8	7. Difetti smalto	2	25%
Blat	35	5. Crepa esterna	8	23%	Pit	4	9. Deformazione	2	50%
Azi Bidet	25	5. Crepa esterna	8	32%	CLO 600	3	3. Grana/ fibra	1	33%
Biis	21	4. Crepa interna	4	19%	DUDU 650	2	3. Grana/ fibra	1	50%
Bel	18	5. Crepa esterna	11	61%	ByeBye	2	2. Punti colorati	1	50%
Clo 380	14	5. Crepa esterna	6	43%	BIDET CLO	2	5. Crepa esterna	1	50%
Azi Lavabo	13	4. Crepa interna	3	23%	Azi Bidet	2	9. Deformazione	1	50%
Lili Lav. 62	11	4. Crepa interna	5	45%	Chim	2	10. Logo	1	50%
Ode	11	4. Crepa interna	4	36%	Livia 600	2	6. Crepa alla base	1	50%
Juno WC	10	5. Crepa esterna	5	50%	BIDET CLOS	1	13. Bolle	1	100%
Chim	10	5. Crepa esterna	2	20%	Lav Ub rigat	1	6. Crepa alla base	1	100%
<b>TOTALE DIFETTI</b>	<b>1292</b>	<b>4. Crepa interna</b>	<b>250</b>	<b>19%</b>	<b>TOTALE DIFE</b>	<b>309</b>	<b>4. Crepa interna</b>	<b>93</b>	<b>30%</b>

**Tabelle 4.4 e 4.5 Tipologia di difetti maggiormente riscontrati per ogni articolo scartato e rispettiva percentuale, relativamente alle prime cotture e alle cotture di ripasso.**

Nella presente analisi, analogamente a quanto fatto nel paragrafo precedente, viene riportata la frequenza degli specifici difetti presenti riferenti ai soli articoli scartati. Come nel caso precedente gli articoli della serie Apron, Etre e Clo risultano compromessi in misura maggiore, raggiungendo frequenze percentuali di scarto prossime al 15% rispetto al totale degli articoli ispezionati. Differentemente a quanto verificato prima le cause che hanno portato all'eliminazione del prodotto hanno natura diversa. Si ha infatti una preponderanza della formazione di crepe, specialmente nei prodotti Apron in prima cottura, seppur con una diminuzione percentuale nei prodotti in prima cottura rispetto al caso precedente, mentre negli articoli che hanno subito un processo di ripasso si assiste ad un aumento significativo dell'intervallo, giungendo a valori superiori al 40% dei valori riscontrati per ogni articolo.

A rafforzare tale argomentazione i risultati dell'analisi inversa evidenziano come le crepe interne risultino un difetto che può compromettere sistematicamente e

irreversibilmente non solo gli articoli prima esposti ma tutti i prodotti ceramici analizzati, risultando tra le cause di scarto in un intervallo compreso tra il 19% fino al 30% di tutti gli articoli prodotti. Tale problema risulta quindi non attribuibile solo a caratteristiche dei singoli prodotti ma direttamente alle componenti dell'impasto o ai processi di essiccazione e cottura, pertanto la soluzione è da ricercarsi nella visione globale della produzione in sé. I risultati ottenuti evidenziano però l'eccessiva fragilità degli articoli Etre e Apron e la loro frequente fallacità. E' intuibile, come spiegato nella precedente analisi, che tali difetti siano attribuibili alle geometrie spigolose e ad un processo o impasto non abbastanza resiliente da limitare la formazione di difetti durante i processi di disidratazione dell'impasto.

#### 4.4 DIFETTI PER PRODOTTI RIPASSATI

PRODOTTI	TOT	DIFETTO	FREQ MAX	Colonna1	PRODOTTI	TOT	DIFETTO	FREQ MAX	Colonna1
Apron 33"	346	13. Bolle	84	24%	Clo 715	58	2. Punti colorati	17	29%
Apron 30"	218	13. Bolle	57	26%	ByeBye	7	2. Punti colorati	5	71%
Clo 715	168	2. Punti colorati	71	42%	Livia 600	2	1. Spillatura	1	50%
Apron 36" DB	157	13. Bolle	33	21%	ETRE 36 DB	47	13. Bolle	17	36%
ETRE 33	154	2. Punti colorati	39	25%	ETRE 33	46	4. Crepa interna	13	28%
ETRE 30	119	2. Punti colorati	30	25%	ETRE 30	23	13. Bolle	8	35%
ETRE 36 DB	117	2. Punti colorati	25	21%	ETRE 36 SB	21	13. Bolle	8	38%
Juno WC	100	13. Bolle	47	47%	Clo 380	15	2. Punti colorati	6	40%
Azi WC	89	13. Bolle	45	51%	Juno WC	11	13. Bolle	5	45%
Apron 36" SB	83	13. Bolle	29	35%	Juno Bidet	6	7. Difetti smalto	2	33%
Blat	79	2. Punti colorati	26	33%	Azi WC	4	13. Bolle	3	75%
Bliis	78	2. Punti colorati	30	38%	Chim	3	7. Difetti smalto	2	67%
ETRE 36 SB	78	2. Punti colorati	21	27%	SINK 36	3	3. Grana/ fibra	1	33%
Clo 380	68	2. Punti colorati	33	49%	Pit	3	2. Punti colorati	1	33%
ORCHARD 36"	59	13. Bolle	14	24%	Blat	2	2. Punti colorati	1	50%
Juno Bidet	41	13. Bolle	15	37%	Zazu 600	2	2. Punti colorati	1	50%
Bel	40	2. Punti colorati	18	45%	Azi Bidet	2	3. Grana/ fibra	1	50%
Azi Bidet	31	13. Bolle	14	45%	Lili WC	1	13. Bolle	1	100%
Pit	26	2. Punti colorati	15	58%	Livia 380	1	2. Punti colorati	1	100%
Chim	23	2. Punti colorati	6	26%	DRAG	1	3. Grana/ fibra	1	100%
Lili Bidet	21	13. Bolle	11	52%	Lili Lav. 62	1	2. Punti colorati	1	100%
DRAG	18	2. Punti colorati	13	72%	Lili lav.70	1	13. Bolle	1	100%
Clo 70	17	1. Spillatura	5	29%	BIDET CLO	1	13. Bolle	1	100%
Azi Lavabo	17	13. Bolle	4	24%	Expo Lav.	1	2. Punti colorati	1	100%
ByeBye	16	2. Punti colorati	11	69%	Lili Bidet	1	2. Punti colorati	1	100%
Lili WC	14	13. Bolle	7	50%	Toio S/P	1	13. Bolle	1	100%
Lili Lav. 62	12	2. Punti colorati	7	58%	ub Ribasso	1	13. Bolle	1	100%
Zazu 800	12	8. Macchie verdi	4	33%					
<b>TOTALE DIFETTI</b>	<b>2315</b>	<b>2. Punti colorati</b>	<b>532</b>	<b>23%</b>	<b>TOTALE DIFETTI</b>	<b>266</b>	<b>13. Bolle</b>	<b>64</b>	<b>24%</b>

Tabelle 4.6 e 4.7 Tipologia di difetti maggiormente riscontrati per ogni articolo ripassato e rispettiva percentuale, relativamente alle prime cotture e alle cotture di ripasso

Complementarmente dal caso precedente, di seguito vengono verificate le quantità e caratteristiche dei difetti riscontrati dei prodotti portati a eseguire un ulteriore ciclo di ripasso. A seguito dei casi precedentemente esposti, risulta immediatamente verificabile come la presenza di difetti quali bolle o punti colorati non compromettano in modo irreparabile gli articoli. Essi risultano più frequenti rispetto ad altri difetti quali crepe o grane nell'impasto e sono attribuibili ad una non omogenea o corretta applicazione dello strato di smalto o alla successiva solidificazione, imputabili entrambi a geometrie o difetti superficiali presenti nella ceramica stessa. E' interessante notare come, analizzando i difetti comuni per tipo di cottura, i punti colorati risultano avere una frequenza complessiva del 23% sul totale delle prime cotture, percentuale molto simile rispetto a quella riscontrata nelle cotture di ripasso riguardanti le bolle. Le serie Etre e Apron, avendo forme molto simili tra loro, presentano gli stessi difetti in percentuali molto simili, per entrambi compresi tra il 25% e il 30% circa. Tale informazione completa e rafforza le precedenti considerazioni riguardo tali prodotti e le ipotetiche soluzioni, principalmente afferenti una modifica progettuale al fine di modificarne gli eventuali punti fragili.



#### 4.5 DIFETTI PER IMPASTO

IMPASTO	TOT	DIFETTO	FREQ MAX	Colonna
Non Specificato	1093	13. Bolle	265	24%
C Imerys+VC Imerys	487	13. Bolle	141	29%
0	403	13. Bolle	80	20%
Euroarce+FFC Imerys	73	13. Bolle	20	27%
FFC Imerys	70	13. Bolle	13	19%
VC Imerys	32	13. Bolle	7	22%
VC Euroarce	14	13. Bolle	3	21%
<b>TOTALE DIFETTI</b>	<b>2172</b>	<b>13. Bolle</b>	<b>529</b>	<b>24%</b>

IMPASTO	TOT	DIFETTO	FREQ MAX	Colonna
Non Specificato	687	13. Bolle	148	22%
0	0		0	#DIV/0!
FFC Imerys	0		0	#DIV/0!
C Imerys+VC Imerys	0		0	#DIV/0!
VC Euroarce	0		0	#DIV/0!
Euroarce+FFC Imerys	0		0	#DIV/0!
VC Imerys	0		0	#DIV/0!
<b>TOTALE DIFETTI</b>	<b>687</b>	<b>13. Bolle</b>	<b>148</b>	<b>22%</b>

**Tabelle 4.8 e 4.9 Tipologia di difetti maggiormente riscontrati in base all'impasto utilizzato, relativamente alle prime cotture e alle cotture di ripasso**

Come ultima analisi viene considerata la composizione dell'impasto al fine di determinarne una possibile relazione diretta con eventuali difetti riscontrati. Tale supposizione si è rivelata non completamente esatta, in quanto i dati ottenuti non presentano i risultati attesi. E' infatti stato verificato come la composizione dell'impasto non sia determinante nella manifestazione di una particolare tipologia di difetto, ma al contrario riporti in ogni caso verso lo stesso risultato, indipendentemente dalle componenti utilizzate. I dati riscontrati assegnano come difetto più frequente attribuibile all'impasto la formazione di bolle. Tale risulta comune a tutti gli articoli presenti, sia nel caso di prima cottura che di ripasso, e presenta una frequenza compresa tra il 20%-29%. A fronte del risultato ottenuto è possibile determinare quindi che tali difetti non siano imputabili all'impasto di per sé, quanto più al processo di essiccazione e successiva cottura, ipotizzando quindi che lo stadio di evaporazione della componente acquosa degli impasti impiegati non avvenga nelle giuste tempistiche o temperature. E'

possibile infatti che i prodotti vengano esposti a gradienti di temperatura diversi in tempi non sufficientemente lunghi da consentire all'acqua di evaporare e filtrare attraverso l'argilla porosa; ciò può portare alla formazione di bolle generate dall'evaporazione del liquido residuo all'interno dell'impasto, creando quindi delle bolle. Questa spiegazione necessita però di ulteriori approfondimenti in merito alle condizioni ambientali e dei processi di cottura al non ancora disponibili. Pertanto questa ultima analisi viene considerata limitatamente ad eventuali e successivi risultati ottenuti tramite regole di associazione utili a rafforzare tale ipotesi.

# 5 ESTRAZIONE DELLE REGOLE DI ASSOCIAZIONE

## 5.1 INTRODUZIONE A RAPID MINER

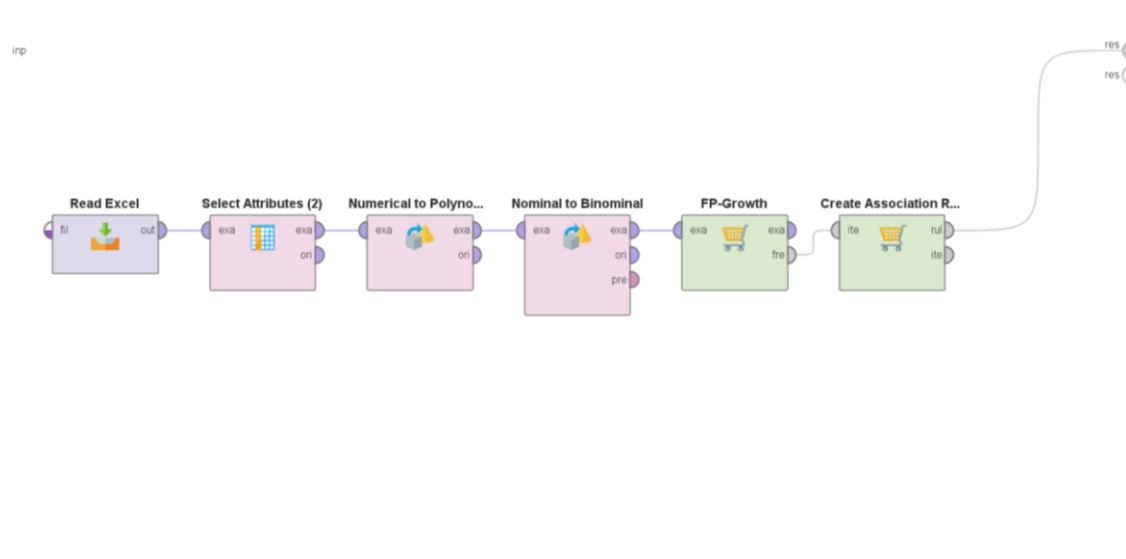
Rapid Miner è un software specifico per funzioni e processi relativi alla Data Science, ovvero lo studio di dati strutturati e non al fine di ottenere ed estrapolare informazioni tramite l'utilizzo di algoritmi e processi analitici e matematici. Il software, disponibile sotto licenza pubblica di utilizzo generale GNU, è stato sviluppato agli inizi degli anni duemila dal dipartimento di intelligenza artificiale dell'università di Dortmund con il nome di YALE, "Yet Another Learning Environment" ovvero "Ancora un Altro Ambiente di Apprendimento". Lo scopo era di creare una nuova tipologia di ambiente di elaborazione dati di dominio comune al fine di permettere una più rapida e personalizzabile implementazione, in contrasto con tecnologie proprietarie quali quelle fornite da aziende come IBM e SAS. Il sistema basato su linguaggio Java, ma permette integrazioni ed espansioni di modelli ed algoritmi utilizzando linguaggio Python e R. La caratteristica di utilizzo principale del software è l'architettura dei processi tramite interfaccia grafica, definita anche General User Interface, in grado di schematizzare i programmi e le funzioni al fine di architettare in flussi di elaborazione dati senza necessitare di conoscenze di programmazione di alto livello.

Tali flussi di elaborazione vengono chiamati più comunemente processi. Essi sono composti da più operatori combinati ciascuno composto da definiti algoritmi e funzioni che ne determinano l'operazione svolta. In ogni operatore sono presenti punti di collegamento in entrata e uscita a cui è possibile abbinare altri operatori o i dati da elaborare. L'interfaccia rimanda all'architettura di componenti elettronici, dove gli operatori rappresentano le schede elettroniche mentre i connettori input/output rappresentano le porte e le periferiche di accesso. Tale rappresentazione risulta ottimale in quanto permette una comprensione visiva oltre che concettuale delle operazioni svolte e della loro consequenzialità.

Tale configurazione grafica permette inoltre di ridurre i tempi di processo riducendo al contempo gli errori di programmazione, non necessitando all'utenza l'elaborazione di codici specifici di programmazione. Il software risulta quindi utile allo svolgimento di elaborazioni complesse come quelle richieste per le operazioni di data mining e machine learning, tra le quali in particolare possono essere citati l'analisi predittiva la creazione di modelli statistici abbinati alla relativa valutazione ed implementazione.

## 5.2 PROCESSO DI ESTRAZIONE DELLE REGOLE SU RAPIDMINER

Al fine di una più completa comprensione del percorso analitico sviluppato vengono riportati gli operatori impiegati e relativamente ad essi una breve descrizione delle mansioni svolte al fine di elaborare le regole di associazione previste. Tali definizioni vengono tratte dalle informazioni fornite direttamente dal sito dell'azienda relativamente al manuale generale degli operatori presenti nel sistema[14].



**Figura 5** Visualizzazione del processo di RapidMiner e dei relativi operatori impiegati per l'estrazione delle regole di associazione

L'operatore **Read Excel** si occupa di importare in ingresso il file con i dati da elaborare. L'operatore permette di definire i fogli di lavoro sul quale eseguire le successive mansioni di analisi ed estrapolazione di dati. I limiti imposti dal software necessitano di una specifica impostazione delle tabelle fornite, definendo nelle righe gli articoli da analizzare e nelle colonne i relativi attributi forniti. Il programma non attribuisce significati particolari o erronei a celle vuote ma si adopera autonomamente ad identificarle contrassegnandole con appositi caratteri speciali al fine di ignorarle nelle successive operazioni. In uscita tale operatore fornisce un formato trascritto in forma matriciale del file inserito così da limitare le informazioni ai soli dati da analizzare, richiedendo meno capacità di calcolo rispetto alla trasposizione del file completo ad ogni passaggio svolto. Per facilitare ulteriormente il caricamento del file è possibile utilizzare un'interfaccia facilitata Wizard utile a selezionare e identificare singoli fogli di lavoro presenti nello stesso file.

L'operatore **Select Attributes** ha il compito invece di selezionare particolari attributi nel formato tabulare appena generato al fine di filtrare i parametri impiegati per il singolo processo. Tale operazione può avvenire sia selezionando un particolare subset di attributi sia fornendo criteri logici o funzioni di filtraggio utili ad eliminare dati non utili allo svolgimento del processo. Nel caso di questo studio viene utilizzata la prima opzione al fine di creare un gruppo di informazioni ristrette ai soli articoli e attributi di difetto e impasto.

Il formato tabellare appena filtrato, denominato temporaneamente dal sistema Example Set, viene analizzato dal successivo operatore **Numerical to Polynomial** con lo scopo di trasformare gli attributi di natura numerica in valori polinomiali. Tale trasformazione ha lo scopo di convertire un insieme di valori discreti in un unico valore polinomiale riferito ad ogni attributo, prevedendone anche un range maggiore dei valori numerici assegnati. Per quanto l'operazione in sé non abbia particolare significato logico ai fini del processo, esso risulta piuttosto utile ai fini di ottimizzare lo spazio di memoria di calcolo del programma, aumentandone la velocità di elaborazione ed evitandone il possibile blocco, fornendo un file ExampleSet equivalente

quantitativamente ottimizzato, preferibile per uno svolgimento più efficiente del processo svolto.

Successivamente tale formato viene importato nell'operatore **Nominal to Binominal**, che ha lo scopo invece di trasformare i precedenti valori numerici e polinomiali relativi agli attributi analizzati in valori logici Booleani. Essi corrispondono agli operatori logici Vero e Falso (True/False) e vengono attribuiti ciclicamente ad ogni valore ed ai conseguenti attributi, verificandone per ognuno la soddisfazione di ogni relazione consequenziale. Per esempio dato un attributo A e i relativi valori come X,Y, e Z, l'operatore analizza per ogni relazione attributo=valore quando questa sia verificata. Il risultato ottenuto è un DataSet in formato binomiale che raccoglie tutte le operazioni logiche svolte per ogni attributo.

Il formato ottenuto viene poi inserito nell'operatore **FP-Growth**, che ha lo scopo di esaminare le relazioni logiche ottenute calcolandone valori statistici di frequenza. Tale estrazione di dati avviene secondo la logica dell'FP Tree, ovvero una struttura logica ad albero che partendo dai dati binomiali iniziali identifica ricorrenze e relazioni concorrenziali in modo progressivo, selezionando di conseguenza le informazioni e gli insiemi di dati che risultano più frequenti al fine di ottenere informazioni statistiche con certezza elevata. Al fine di selezionare e filtrare le informazioni estratte è possibile determinare una condizione di minimo supporto, ovvero il minimo rapporto di un determinato evento in relazione al totale degli itemset analizzati. Nel caso specifico dello studio in questione è stato scelto come valore di minimo supporto di 0,002, molto basso essendo la quantità complessiva di dati analizzati estremamente consistente, ma allo stesso tempo abbastanza elevato da filtrare tutte le regole relazioni non sufficientemente verificabili nella realtà.

Infine i risultati estrapolati dall'identificazione degli itemset frequenti viene inserita nell'operatore **Create Association Rules**, il quale ha lo scopo di redigere le regole di associazione finali. Per fare ciò il programma confronta i dati relativi al supporto precedentemente ottenuti comparandoli con i criteri di confidenza corrispondenti. Come descritto nei capitoli precedenti, il supporto identifica la frequenza complessiva di un

determinato dato mentre la confidenza definisce un sottoinsieme appartenente a quest'ultimo dove viene verificata una determinata relazione consequenziale If/Then tra elementi disgiunti dei dati analizzati. Le regole di associazione ottenute presentano una Testa, un Corpo e una Coda, Body e Head, che rappresentano rispettivamente la premessa e la conclusione della relazione verificata. In particolare, relativamente a questo elaborato, vengono analizzati dati relativamente ai prodotti difettosi ispezionati per ottenere regole di associazione in grado di prevedere la correlazione tra difetti di natura diversa e all'identificazione di eventuali anomalie che possano concorrere allo scarto dei prodotti.

## 6 ANALISI DELLE REGOLE ASSOCIATIVE

Al fine di garantire un'analisi completa ed identificare più regole e pattern possibili al fine di limitare la comparsa di difetti ed i conseguenti scarti, vengono effettuate tre prove considerando dapprima le relazioni tra i soli difetti e successivamente considerando anche i dati relativi ai prodotti scartati e ripassati.

### 6.1 REGOLE OTTENUTE TRA I DIFETTI RISCONTRATI ED I PRODOTTI SCARTATI

L'analisi delle regole di associazione riportanti come conseguenza lo scarto degli articoli ha lo scopo di identificare in un primo momento i principali difetti concorrenti coinvolti nel danneggiamento irreversibile dei prodotti analizzati. L'analisi in questione è stata distinta tra articoli di prima cottura e prodotti soggetti a ripasso, conferendo una comprensione complessiva utile a distinguere eventuali differenze nel manifestarsi di specifici difetti, potendo quindi prevedere il comportamento ed i cambiamenti che occorrono nei prodotti quando sono sottoposti ad un ciclo correttivo. Relativamente alle prime cotture sono state analizzate le regole con valori di supporto e confidenza adeguatamente alti. Ciò si è reso necessario dato l'elevato numero di relazioni identificate ma anche e soprattutto per filtrare le informazioni relative soltanto ad eventi statisticamente più probabili. Di conseguenza sono state trascurate tutte le regole con supporto inferiore a 0,003, poiché per quanto importanti ai fini del processo analitico predittivo esse risultano eccessivamente rare nell'ambiente reale e dunque difficilmente verificabili. Dei risultati ottenuti vengono mostrati infine quelli con valore di confidenza superiore al 10%, limitando l'analisi ai difetti maggiormente riscontrabili e la cui risoluzione può generare immediati benefici in termini di efficienza e riduzione delle perdite di produzione.



### 6.1.1 PRIME COTTURE

Colonna1	premessa (BODY)	conclusione (HEAD)	SUPPORTO	CONFIDENZA
1094	4. Crepa interna = X	Scarto = X	0.02480916030534351	0.42207792207792205
1072	4. Crepa interna = X	Scarto = 1	0.021755725190839695	0.37012987012987014
1109	5. Crepa esterna = X	Scarto = X	0.030916030534351144	0.54
1028	5. Crepa esterna = X	Scarto = 1	0.01717557251908397	0.3
1098	6. Crepa alla base = X	Scarto = 1	0.009923664122137405	0.45614035087719296
961	6. Crepa alla base = X	Scarto = X	0.0053435114503816794	0.24561403508771928
1104	7. Difetti smalto = X	Scarto = X	0.007633587786259542	0.5128205128205128
1105	9. Deformazione = X	Scarto = 1	0.00916030534351145	0.5217391304347826

**Tabella 6.1 Regole aventi come conclusione il prodotto scartato e come premessa la tipologia di difetto relativamente alle prime cotture**

Relativamente alle prime cotture le cause di scarto sono prevalentemente riconducibili a difetti quali crepe sia interne che esterne. In 6 casi su 10 infatti tali difformità sono esposte come premessa di regole aventi come conclusione lo scarto dell'articolo. La crepa esterna in particolare dimostra essere particolarmente compromettente, danneggiando oltre il 50% dei prodotti in cui viene riscontrata. I difetti di deformazione e smaltatura presentano valori di confidenza molto elevati e simili al primo caso, rafforzando la teoria secondo cui all'origine di tali difetti vi sia un non corretto processo di cottura rispetto alla tipologia di impasto impiegato. Tale approfondimento merita particolare attenzione in quanto da solo contribuisce al dimezzamento dell'efficienza produttiva dell'intero processo.

## 6.1.2 COTTURE DI RIPASSO

Colonna1	premessa (BODY)	conclusione (HEAD)	SUPPORTO	CONFIDENZA
931	12. Attaccati = x	Scarto = x	0.006622516556291391	0.8333333333333334
928	8. Macchie verdi = x	Scarto = x	0.009271523178807948	0.7777777777777778
924	4. Crepa interna = xx	Scarto = xx	0.026490066225165563	0.7407407407407407
923	6. Crepa alla base = x	Scarto = x	0.009271523178807948	0.7
891	5. Crepa esterna = xx	Scarto = xx	0.006622516556291391	0.625
883	5. Crepa esterna = x	Scarto = x	0.06622516556291391	0.5882352941176471
882	7. Difetti smalto = x	Scarto = xx	0.010596026490066225	0.5714285714285714
877	4. Crepa interna = x	Scarto = x	0.05827814569536424	0.5301204819277109
875	13. Bolle = x	Scarto = x	0.02913907284768212	0.5238095238095238
852	7. Difetti smalto = x	Scarto = x	0.007947019867549669	0.42857142857142855
807	13. Bolle = x	Scarto = xx	0.018543046357615896	0.3333333333333333
791	4. Crepa interna = x	Scarto = xx	0.03443708609271523	0.3132530120481928
774	5. Crepa esterna = x	Scarto = xx	0.033112582781456956	0.29411764705882354
756	3. Grana/ fibra = 1	Scarto = x	0.01456953642384106	0.28205128205128205
689	13. Bolle = 1	Scarto = x	0.019867549668874173	0.22388059701492538
602	8. Macchie verdi = 1	Scarto = xx	0.006622516556291391	0.18518518518518517
589	13. Bolle = 1	Scarto = xx	0.015894039735099338	0.1791044776119403

**Tabella 6.2 Regole aventi come conclusione il prodotto scartato e come premessa la tipologia di difetto relativamente alle cotture di ripasso**

Relativamente alle cotture di ripasso si ha invece un sensibile e omogeneo aumento della confidenza di circa il 30%. Rispetto al processo di prima cottura si ha però come difetto più probabile quello relativo all'attaccamento di componenti, non presente in precedenza ma con un'elevata probabilità di danneggiamento del prodotto, data all'83,3%. Similmente anche le macchie verdi risultano estremamente compromettenti per la corretta riuscita della ceramica, presentando valori di confidenza vicini all'80%, come avviene nel caso della crepa interna. Per quest'ultima tipologia di difformità è inoltre riscontrabile come ad essa vengano assegnate conclusioni che presentano due prodotti difformi contemporaneamente. E' quindi evidente come il processo correttivo di ripasso sia responsabile invece di un ulteriore e maggiore scarto dei prodotti, riducendo la probabilità complessiva di prodotti idonei in uscita a circa il 50% del totale. E' quindi è necessario ridiscutere i passaggi del processo produttivo specialmente per quanto riguarda la fase di seconda cottura, applicando eventualmente correttivi che compensino le evidenti suscettibilità degli impasti impiegati nei processi termici.

## 6.2 REGOLE OTTENUTE TRAI I DIFETTI RISCONTRATI ED I PRODOTTI RIPASSATI

Analogamente a quanto fatto nell'analisi precedentemente, vengono riportate e definite le regole di associazione che definiscono processi aventi come conclusione prodotti non idonei e necessitanti di un secondo ciclo di cottura di ripasso. Le condizioni di minimo supporto e l'ordine delle regole in base alla percentuale di confidenza riprendono l'impostazione eseguita precedentemente al fine di consentire una più semplice comprensione dei dati forniti.

### 6.2.1 PRIME COTTURE

Colonna	premessa (BODY)	conclusione (HEAD)	SUPPORTO	CONFIDENZA
1017	7. Difetti smalto = 2	Ripasso = 2	0.0053435114503816794	0.5833333333333334
1016	2. Punti colorati = 1	Ripasso = 1	0.07748091603053435	0.5670391061452514
1015	13. Bolle = 1	Ripasso = 1	0.07137404580152672	0.5598802395209581
1014	7. Difetti smalto = 1	Ripasso = 1	0.025572519083969465	0.5583333333333333
1013	2. Punti colorati = 2	Ripasso = 2	0.022900763358778626	0.5555555555555556
1012	13. Bolle = 2	Ripasso = 2	0.015648854961832062	0.5540540540540541
1009	2. Punti colorati = 3	Ripasso = 3	0.0053435114503816794	0.5384615384615384
1008	1. Spillatura = 1	Ripasso = 1	0.014885496183206106	0.527027027027027
999	6. Crepa alla base = 1	Ripasso = 1	0.006870229007633588	0.42857142857142855
993	4. Crepa interna = 1	Ripasso = 1	0.012213740458015267	0.41025641025641024
982	3. Grana/ fibra = 1	Ripasso = 1	0.016412213740458016	0.3805309734513274
981	10. Logo = 1	Ripasso = 1	0.010305343511450382	0.38028169014084506
976	8. Macchie verdi = 1	Ripasso = 1	0.025572519083969465	0.3722222222222223
960	6. Crepa alla base = 1	Ripasso = 2	0.0053435114503816794	0.3333333333333333
948	10. Logo = 1	Ripasso = 2	0.008778625954198474	0.323943661971831
945	8. Macchie verdi = 1	Ripasso = 2	0.022137404580152672	0.3222222222222224
938	4. Crepa interna = X	Ripasso = 1	0.017938931297709924	0.3051948051948052
907	1. Spillatura = 1	Ripasso = 2	0.007633587786259542	0.2702702702702703
902	7. Difetti smalto = 1	Ripasso = 2	0.012213740458015267	0.26666666666666666
888	2. Punti colorati = 2	Ripasso = 3	0.010687022900763359	0.25925925925925924
885	4. Crepa interna = 1	Ripasso = 2	0.007633587786259542	0.2564102564102564
882	13. Bolle = 1	Ripasso = 2	0.03244274809160305	0.25449101796407186
880	5. Crepa esterna = X	Ripasso = 1	0.01450381679389313	0.25333333333333335
872	3. Grana/ fibra = 1	Ripasso = 2	0.010687022900763359	0.24778761061946902
863	2. Punti colorati = 1	Ripasso = 2	0.03244274809160305	0.23743016759776536
828	13. Bolle = 2	Ripasso = 3	0.0061068702290076335	0.21621621621621623
774	8. Macchie verdi = 1	Ripasso = 3	0.012213740458015267	0.17777777777777778
732	3. Grana/ fibra = 1	Ripasso = 3	0.006870229007633588	0.1592920353982301
711	5. Crepa esterna = X	Ripasso = 2	0.008778625954198474	0.15333333333333332
630	2. Punti colorati = 1	Ripasso = 3	0.01717557251908397	0.12569832402234637
625	4. Crepa interna = X	Ripasso = 2	0.007251908396946565	0.12337662337662338
558	13. Bolle = 1	Ripasso = 3	0.013358778625954198	0.10479041916167664

**Tabella 6.3** Regole aventi come conclusione il prodotto ripassato e come premessa la tipologia di difetto relativamente alle prime cotture

Rispetto all'analisi eseguita precedentemente è possibile notare come difetti quali crepe e macchie siano presenti meno frequentemente e con valori di confidenza sensibilmente inferiori. Tale affermazione trova ulteriore valore se si considera la complementarità dei valori riscontrati, come per esempio nella regola {CREPA INTERNA=1} ⇒ {SCARTO=1} che registra un valore compreso tra il 30% e il 40% di confidenza, mentre per i prodotti scartati il valore supera di poco il 40%, deducendo quindi che la probabilità di ottenere articoli che presentano crepe non gravi da necessitare di processi correttivi o essere scartati rappresenta una probabilità inferiore al 20%.

Le regole generate aventi come conclusione il ripasso dei prodotti presentano prevalentemente difetti di tipo superficiale, quali bolle, difetti di smalto o punti colorati. I valori di confidenza acquisiti indicano comunque un'elevata percentuale di prodotti considerati difettosi, in alcuni casi vicina al 60% , come avviene per esempio nel caso dei punti colorati o dei difetti di smalto.

## 6.2.2 COTTURE DI RIPASSO

Colonna	premessa (BODY)	conclusione (HEAD)	SUPPORTO	CONFIDENZA
932	10. Logo = 1	Ripasso = 1	0.006622516556291391	0.8333333333333334
933	13. Bolle = o	Ripasso = o	0.006622516556291391	0.8333333333333334
929	13. Bolle = 1	Ripasso = 1	0.07019867549668875	0.7910447761194029
922	3. Grana/ fibra = 1	Ripasso = 1	0.03576158940397351	0.6923076923076923
899	8. Macchie verdi = 1	Ripasso = 1	0.02384105960264901	0.6666666666666666
892	13. Bolle = 2	Ripasso = 2	0.006622516556291391	0.625
890	7. Difetti smalto = 1	Ripasso = 1	0.013245033112582781	0.625
864	13. Bolle = 1x	Ripasso = 1	0.005298013245033113	0.5
865	4. Crepa interna = xxx	Ripasso = 1	0.005298013245033113	0.5
828	4. Crepa interna = xx	Ripasso = 1	0.013245033112582781	0.37037037037037035
758	5. Crepa esterna = x	Ripasso = 1	0.031788079470198675	0.2823529411764706
728	7. Difetti smalto = 1	Ripasso = 2	0.005298013245033113	0.25
652	3. Grana/ fibra = 1	Ripasso = 2	0.010596026490066225	0.20512820512820512
620	4. Crepa interna = x	Ripasso = 1	0.02119205298013245	0.1927710843373494
610	13. Bolle = x	Ripasso = 1	0.010596026490066225	0.19047619047619047
605	8. Macchie verdi = 1	Ripasso = 2	0.006622516556291391	0.18518518518518517
561	13. Bolle = 1	Ripasso = 2	0.013245033112582781	0.14925373134328357

**Tabella 6.4** Regole aventi come conclusione il prodotto ripassato e come premessa la tipologia di difetto relativamente alle cotture di ripasso.

Nei prodotti necessitanti un ulteriore ciclo di ripasso correttivo risulta preponderante la presenza di difetti superficiali rispetto alla formazione di crepe invasive. Nonostante una seconda cottura in questo caso non comprometta la struttura ceramica interna del prodotto, si nota un sensibile aumento dei difetti superficiali verificati durante la prima cottura, quali per esempio nel caso dei difetti di logo, con l'83% di probabilità di riscontrare tale problematica. Anche le regole relative alla formazione di bolle presenta un valore simile di confidenza. E' possibile dedurre quindi come nei prodotti con difetti superficiali la cottura di ripasso possa presentare complicazioni maggiori rispetto alle condizioni di prima cottura, danneggiando ulteriormente lo strato di smalto applicato superficialmente. E' necessario limitare nell'immediato il numero di articoli necessitanti un secondo processo di ripasso al fine da mantenere un discreto quantitativo di prodotti idonei, studiando in un secondo momento un processo differente di cottura di ripasso modificando valori di esposizione nei forni e temperature al fine di non sollecitare eccessivamente lo smalto applicato.

### ***6.3 REGOLE OTTENUTE TRA I PRODOTTI E I DIFETTI RISCONTRATI***

L'ultima analisi svolta ha il compito di identificare invece le tipologie di difetti più probabilmente riscontrabili in determinati prodotti al fine di attuare una strategia preventiva volta alla correzione in sede progettuale o di processo. L'obiettivo è quindi di identificare eventuali caratteristiche dei prodotti al fine di eliminare a monte la comparsa di specifici difetti e aumentare di conseguenza le quantità di prodotti idonei. Tale studio risulta inoltre complementare all'analisi statistica svolta nei capitoli precedenti, fornendo informazioni più dettagliate ed approfondite.

### 6.3.1 PRIME COTTURE

premessa (BODY)	conclusione (HEAD)	SUPPORTO	CONFIDENZA
Articolo = Azi Wc	13. Bolle = 1	0.008396946564885497	0.3235294117647059
Articolo = ETRE 33	2. Punti colorati = 1	0.009541984732824428	0.30864197530864196
Articolo = Apron 36" SB	13. Bolle = 1	0.00916030534351145	0.2823529411764706
Articolo = Bel	2. Punti colorati = 1	0.0064885496183206106	0.2786885245901639
Articolo = Juno Wc	13. Bolle = 1	0.006870229007633588	0.27692307692307694
Articolo = Apron 33"	13. Bolle = 1	0.019465648854961833	0.26288659793814434
Articolo = ETRE 30	2. Punti colorati = 1	0.007633587786259542	0.25
Articolo = ETRE 36 SB	2. Punti colorati = 1	0.007251908396946565	0.24358974358974358
Articolo = ETRE 36 DB	2. Punti colorati = 1	0.006870229007633588	0.22784810126582278
Articolo = ETRE 33	3. Grana/ fibra = 1	0.0064885496183206106	0.20987654320987653
Articolo = Clo 715	2. Punti colorati = 1	0.011450381679389313	0.22556390977443608
Articolo = ETRE 33	13. Bolle = 1	0.0064885496183206106	0.20987654320987653
Articolo = Apron 30"	13. Bolle = 1	0.011450381679389313	0.20408163265306123
Articolo = Apron 36" DB	2. Punti colorati = 1	0.008778625954198474	0.19327731092436976

**Tabella 6.5 Regole aventi come conclusione i difetti riscontrati e come premessa il prodotto difettoso relativamente alle prime cotture**

Dall'analisi effettuata risulta immediato notare significative differenze rispetto alle analisi statistiche attuate precedentemente. Tale aspetto risulta però motivato dal funzionamento stesso dell'algoritmo utilizzato per la creazione delle regole di associazione. Infatti se prima venivano fatte considerazioni complessive e meramente quantitative, in questo caso le regole elaborate forniscono dettagli statistici quantitativi puntuali in merito alla probabilità di riscontrare specifici difetti. Per esempio è possibile notare come nel caso dell'articolo Apron 36" SB la comparsa di bolle venga definita probabile al 30% circa, dato che non contrasta con il precedente studio riguardante il difetto maggiormente riscontrato quali crepe interne al prodotto. Ciò significa che la prosecuzione di entrambi gli studi in parallelo fornisca una visione complessiva per quanto riguarda le quantità difettose, mentre fornisce tramite le regole di associazione risultati puntuali all'individuazione di specifiche criticità non individuabili se non tramite i processi di data mining. Risulta interessante notare però come le regole sopra indicate forniscano come difetto preponderante la probabilità di riscontrare punti colorati, concordando con l'analisi dei difetti eseguita in precedenza (tabella 4.2). Tale informazione coincide e conferma l'argomentazione secondo cui la statistica tradizionale individua informazioni diffuse e percepibili, mentre viene dato il compito a sistemi più evoluti la ricerca di informazioni più elaborate.

### 6.3.2 COTTURE DI RIPASSO

Colonna1	premessa (BODY)	conclusione (HEAD)	SUPPORTO	CONFIDENZA
223	Articolo = Ode	4. Crepa interna = x	0.0026490066225165563	0.5
144	Articolo = ETRE 36 SB	13. Bolle = 1	0.007947019867549669	0.13043478260869565
162	Articolo = ETRE 36 SB	4. Crepa interna = x	0.009271523178807948	0.15217391304347827
191	Articolo = ETRE 36 SB	5. Crepa esterna = x	0.013245033112582781	0.21739130434782608
167	Articolo = ETRE 36 DB	5. Crepa esterna = x	0.011920529801324504	0.16363636363636364
168	Articolo = ETRE 36 DB	4. Crepa interna = x	0.011920529801324504	0.16363636363636364
198	Articolo = ETRE 36 DB	13. Bolle = 1	0.017218543046357615	0.23636363636363636
135	Articolo = ETRE 33	13. Bolle = 1	0.009271523178807948	0.12280701754385964
166	Articolo = ETRE 33	4. Crepa interna = xx	0.011920529801324504	0.15789473684210525
177	Articolo = ETRE 33	5. Crepa esterna = x	0.01456953642384106	0.19298245614035087
206	Articolo = ETRE 33	4. Crepa interna = x	0.019867549668874173	0.2631578947368421
197	Articolo = ETRE 30	4. Crepa interna = x	0.017218543046357615	0.23636363636363636
161	Articolo = Clo 715	3. Grana/ fibra = 1	0.01456953642384106	0.1506849315068493
192	Articolo = Clo 715	2. Punti colorati = 1	0.02119205298013245	0.2191780821917808
222	Articolo = ByeBye	2. Punti colorati = 1	0.006622516556291391	0.41666666666666667
147	Articolo = Bei	2. Punti colorati = 1	0.0026490066225165563	0.13333333333333333
150	Articolo = Apron 36" DB	4. Crepa interna = x	0.007947019867549669	0.14285714285714285
154	Articolo = Apron 36" DB	6. Crepa alla base = x	0.007947019867549669	0.14285714285714285
169	Articolo = Apron 36" DB	13. Bolle = 1	0.009271523178807948	0.16666666666666666
212	Articolo = Apron 36" DB	5. Crepa esterna = x	0.017218543046357615	0.30952380952380953
165	Articolo = Apron 33"	4. Crepa interna = x	0.011920529801324504	0.15789473684210525
187	Articolo = Apron 33"	5. Crepa esterna = x	0.015894039735099338	0.21052631578947367
196	Articolo = Apron 33"	13. Bolle = 1	0.017218543046357615	0.22807017543859648
145	Articolo = Apron 30"	5. Crepa esterna = x	0.009271523178807948	0.1320754716981132

**Tabella 6.6 Regole aventi come conclusione i difetti riscontrati e come premessa il prodotto difettoso relativamente alle cotture di ripasso.**

Analogamente a quanto affermato prima, anche i prodotti che hanno subito un processo di ripasso termico presentano analogie con le indagini statistiche svolte precedentemente (tabella 4.3). I difetti riscontrati maggiormente risultano infatti le crepe interne, con un valore di confidenza compreso tra il 15% e il 50%. Tale informazione risulta coerente con il valore medio riscontrato precedentemente ed è facilmente verificabile tramite media delle percentuali di confidenza pesate rispetto ai rispettivi valori di supporto.

## 7 CONCLUSIONI

L'elaborato svolto ha documentato il processo risolutivo impiegato per la creazione di regole di associazione necessarie all'individuazione di criticità legate al controllo qualità di prodotti ceramici.

Inizialmente è stata eseguita un'analisi statistica quantitativa allo scopo di individuare tendenze o gruppi di prodotti generalmente suscettibili a difetti rispetto ad altre categorie.

In tale analisi sono stati individuate tre serie di prodotti, rispettivamente Apron Etre e Clo, le quali risultano comunemente soggette a danneggiamenti irreversibili per la formazione di crepe interne e difetti di smalto.

I successivi processi di creazione delle regole di associazione hanno avuto invece lo scopo di raccogliere informazioni mirate in merito alle tipologie di difetti riscontrati nei singoli controlli.

In particolare sono state studiate regole in grado di documentare le tipologie di difetti più frequenti per i prodotti scartati e analogamente anche per i prodotti rimandati ad un ulteriore processo di cottura.

I risultati del primo processo, schematizzato tramite la regola {difetto}  $\Rightarrow$  {prodotto scartato} hanno permesso di verificare e confermare quanto già ipotizzato nell'analisi iniziale, ovvero che la formazione di crepe determina in modo irreversibile la non idoneità del prodotto ed il conseguente scarto. L'algoritmo progettato per l'elaborazione delle regole di associazione ha inoltre fornito, tramite i valori di confidenza e supporto accurate informazioni riguardo le percentuali di scarto dei prodotti, mediamente il 50% del numero totale degli articoli prodotti.

Il secondo processo è stato elaborato con l'obiettivo di estrapolare le relazioni {difetti}  $\Rightarrow$  {prodotti ripassati} nello stesso gruppo di dati analizzato in precedenza. I risultati ottenuti hanno individuato nei difetti superficiali e di smalto le cause principali di non idoneità dei prodotti necessitanti un successivo processo di ripasso. Inoltre è stato



verificato come la probabilità di riscontrare tali difetti aumenti dopo l'esecuzione della seconda cottura, passando da circa il 40% a quasi l'80% di confidenza media delle regole analizzate.

A tal proposito è plausibile una limitazione delle cotture di ripasso ad 1 solo ciclo per i prodotti che presentano deformazioni superficiali o di smalto al fine da limitare lo scarto complessivo di prodotti e la saturazione della linea produttiva.

A seguito delle analisi svolte e dei risultati ottenuti è possibile dunque prevedere possibili interventi migliorativi al fine di limitare la produzione di elementi difettosi ed incrementare di conseguenza l'efficienza produttiva. Data la natura dei difetti riscontrati è ipotizzabile come questi siano causati da processi di essiccamento e cottura non adeguati alla composizione di argille e acqua degli impasti. Tale ipotesi trova conferma anche nella frequenza con cui si manifestano difetti di smalto e bolle, attribuibili probabilmente a porosità o deformazioni precedenti alla cottura, le quali non garantiscono l'ottimale aderenza dello smalto, con il rischio di causare ulteriori deformazioni per la creazione di bolle d'aria durante la cottura.

Per quanto riguarda invece le Serie Apron Etre e Clo è necessario studiare due possibili alternative tra loro complementari: una prima riguardante la riprogettazione delle forme, in particolare degli spessori e degli spigoli, suscettibili a rotture per tensioni residue dopo la cottura o per tempi di essiccamento diversi nelle pareti più sottili, compromettendone l'omogeneità della ceramica. In alternativa è possibile studiare la composizione dell'impasto utilizzato in modo da risultare resiliente alle sollecitazioni meccaniche a cui risulta sottoposto.

Tali soluzioni possono essere integrate nello studio appena svolto fornendo dati relativi all'impasto ed ai processi di cottura, permettendo di ottenere nuove e possibili combinazioni in grado di fornire regole di associazione migliorative e complete.

In conclusione è possibile affermare che l'estrapolazione di regole associative tramite Data Mining ha permesso di identificare in modo accurato l'origine dei problemi riscontrati.

## Bibliografia

- [1] P. O. Antonino *et al.*, «A Quality 4.0 Model for architecting industry 4.0 systems», *Advanced Engineering Informatics*, vol. 54, p. 101801, ott. 2022, doi: 10.1016/j.aei.2022.101801.
- [2] A. Albers, B. Gladysz, T. Pinner, V. Butenko, e T. Stürmlinger, «Procedure for Defining the System of Objectives in the Initial Phase of an Industry 4.0 Project Focusing on Intelligent Quality Control Systems», *Procedia CIRP*, vol. 52, pp. 262–267, gen. 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.07.067.
- [3] N. N. Hien, G. Lasa, I. Iriarte, e G. Unamuno, «An overview of Industry 4.0 Applications for Advanced Maintenance Services», *Procedia Computer Science*, vol. 200, pp. 803–810, gen. 2022, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.277.
- [4] «Big Data Storage Solutions with Exabyte-Scale Object Storage», *Cloudian*. <https://www-cloudian-com-go-vip-net/solutions/big-data/> (consultato 13 febbraio 2023).
- [5] «The Four Types of Big Data Analytics and Their Benefits - Bay Atlantic University - Washington, D.C.», 8 febbraio 2021. <https://bau.edu/blog/big-data-analytics-types/> (consultato 13 febbraio 2023).
- [6] «Agrawal et al. - Mining Association Rules between Sets of Items in .pdf». Consultato: 10 febbraio 2023. [Online]. Disponibile su: <http://www.rakesh.agrawal-family.com/papers/sigmod93assoc.pdf>
- [7] E. Wuchina, E. Opila, M. Opeka, B. Fahrenholtz, e I. Talmy, «UHTCs: Ultra-High Temperature Ceramic Materials for Extreme Environment Applications», *Electrochem. Soc. Interface*, vol. 16, fasc. 4, pp. 30–36, dic. 2007, doi: 10.1149/2.F04074IF.
- [8] «363303.pdf». Consultato: 9 febbraio 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/363303>
- [9] «Torella - CLASSIFICAZIONE, PROPRIETÀ E CICLO PRODUTTIVO.pdf». Consultato: 9 febbraio 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.marcotorella.com/wp-content/uploads/2016/01/16-01-25-prima-le-ceramiche.pdf>
- [10] «Tesi\_dottorato\_Antonio\_Cassese.pdf». Consultato: 10 febbraio 2023. [Online]. Disponibile su: [http://www.fedoa.unina.it/637/1/Tesi\\_dottorato\\_Antonio\\_Cassese.pdf](http://www.fedoa.unina.it/637/1/Tesi_dottorato_Antonio_Cassese.pdf)
- [11] pemo Author, «Il ciclo produttivo dell'industria ceramica», *Pemo Pumps*, 11 novembre 2021. <https://www.pemopumps.com/ciclo-produttivo-industria-ceramica/> (consultato 10 febbraio 2023).
- [12] SIMONA, «Com'è fatto un water? In fabbrica per vedere come nasce un wc», *Besidebathrooms*, 6 giugno 2019. <https://www.besidebathrooms.com/come-e-fatto-un-water/> (consultato 10 febbraio 2023).
- [13] E. Boros, N. K. Nguyen, G. Lejeune, e A. Doucet, «Assessing the impact of OCR noise on multilingual event detection over digitised documents», *Int J Digit Libr*, vol. 23, fasc. 3, pp. 241–266, set. 2022, doi: 10.1007/s00799-022-00325-2.
- [14] «Operator Manual - RapidMiner Documentation». <https://docs.rapidminer.com/9.9/studio/operators/> (consultato 7 febbraio 2023).