



**UNIVERSITÀ DI PISA**

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Progetto “Total Clean Injector” in una Linea di  
produzione Iniettori ad alta pressione***

**di**

**Matteo Andreini**

---

RELATORI

Prof. Ing. Franco Failli  
*Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare  
e della Produzione*

Massimiliano Ghimenti  
*Continental Automotive Italy S.p.A.*

Sessione di Laurea del 19/02/2014  
Anno Accademico 2012/2013  
Consultazione NON consentita

Tesi lunga  
**Progetto “Total Clean Injector” in una Linea di produzione Iniettori ad alta pressione**  
di  
**Matteo Andreini**

Tesi proposta per il conseguimento del titolo di  
DOTTORE IN INGEGNERIA GESTIONALE

Presso la  
Facoltà di Ingegneria  
della  
Università degli Studi di Pisa

Sessione di Laurea del 19 Febbraio 2014

CANDIDATO

Matteo Andreini

APPROVATA DA

Prof. Ing. Franco Failli

Consultazione NON consentita

## **Progetto "Total Clean Injector" in una Linea di produzione Iniettori ad alta pressione**

### **SOMMARIO**

Questo studio, svolto in collaborazione con la Continental Automotive Italy S.p.A. di Pisa, ha avuto come scopo la pianificazione e la messa in pratica di un progetto, denominato "Total Clean Injector", per l'analisi, la mappatura e la riduzione della contaminazione relativamente alla produzione di un iniettore ad alta pressione di ultima generazione.

L'analisi ha compreso la contaminazione proveniente dalla linea, dai ritorni cliente, da determinate tipologie di scarti e da alcune tipologie di filtri utilizzate durante le attività di test degli iniettori stessi. Congiuntamente alle attività di analisi è stata effettuata l'individuazione delle root causes e l'applicazione di azioni correttive e contenitive mirate alla riduzione della contaminazione, in un'ottica di continuo ciclo di miglioramento.

Oltre a ciò è stato fornito all'area di produzione un metodo di validità generale che potrà permettere un monitoraggio della contaminazione sui componenti in ingresso alla linea, direttamente in Clean Room e con un riscontro in tempo reale; il metodo è stato formalizzato nella relativa istruzione operativa.

## **Project "Total Clean Injector" in a production Line of high-pressure Injectors**

### **ABSTRACT**

This study has been performed in collaboration with the plant of Pisa of Continental Automotive Italy S.p.A.; the main purpose is the planning and practical implementation of a project called "Total Clean Injector", for analysis, mapping and reduction of contamination coming from the production of the high pressure XL3 injector.

The analysis include the contamination coming from the assembly line, from customer returns, from certain types of scraps and from some types of filters used during the testing activities of the injectors. In the meanwhile the identification of root causes and the application of corrective and containment actions, aimed to the reduction of the contamination, have been performed in a continuous cycle of improvement.

In addition, it has been provided to the production a method, which allows monitoring of contamination on incoming components to the line, directly in Clean Room and with a real-time feedback; this method has been described in the dedicated work instruction.

# Indice

<b>Indice</b> .....	4
<b>Introduzione</b> .....	7
<b>Capitolo 1-Continental AG</b> .....	11
<b>1.1-Il gruppo Continental</b> .....	11
<b>1.1.1. Vision</b> .....	14
<b>1.1.2. Mission</b> .....	14
<b>1.1.3. Valori</b> .....	15
<b>1.2-Pisa Plants</b> .....	15
<b>Capitolo 2-L'elettroiniettore XL3</b> .....	22
<b>2.1-Concetti base dell'iniezione elettronica</b> .....	22
<b>2.2-Il prodotto XL3</b> .....	25
<b>2.2.1-Descrizione generale</b> .....	25
<b>2.2.2-Componenti XL3</b> .....	28
<b>2.2.3-Caratteristiche principali dell'elettroiniettore XL3</b> .....	39
<b>2.2.4 -Flow chart linea XL3</b> .....	44
<b>Capitolo 3- La contaminazione negli iniettori</b> .....	53
<b>3.1-Aspetti generali</b> .....	53
<b>3.2-Classificazione della contaminazione</b> .....	54
<b>3.3-Le possibili sorgenti della contaminazione solida "a zero ore" iniettore XL3</b> .....	61
<b>3.4-Le attuali metodologie di misurazione della contaminazione linea XL3</b> ..	62
<b>3.4.1-La norma ISO 4406</b> .....	65
<b>3.4.2-La specifica S0197</b> .....	66
<b>Capitolo 4- Il progetto "Total Clean Injector"</b> .....	69
<b>4.1-Focus e obiettivi del progetto</b> .....	69
<b>4.2-Strategia di analisi</b> .....	71

4.3 Elaborazione dati ed aggressione contaminazione .....	77
<b>Capitolo 5- Contamination Analysis.....</b>	<b>79</b>
5.1-Contaminazione iniettori .....	79
5.1.1-Analisi scarti .....	79
5.1.2-Analisi filtri flussaggio iniettore pre-Testline e post-Testline.....	88
5.1.3-Analisi filtri Testline .....	91
5.1.4-Analisi ritorni dal cliente .....	93
5.2-Contaminazione componenti .....	94
5.3-Contaminazione linea .....	99
5.3.1 Mappatura contaminazione linea e stazione 5 modulo ATB .....	100
<b>Capitolo 6- Root Causes .....</b>	<b>105</b>
6.1-Contaminazioni metalliche.....	107
6.2-Contaminazioni organiche.....	115
<b>Capitolo 7- Corrective Actions.....</b>	<b>121</b>
7.1 Le azioni intraprese .....	121
7.1.1 Contaminazione materiale Valve Body .....	122
7.1.2 Contaminazione materiale Needle-Hydro Disc .....	124
7.1.3 Contaminazione organica .....	126
<b>Capitolo 8-Definizione processo di monitoraggio cleanliness componenti .....</b>	<b>130</b>
8.1 Analisi al Surfex.....	131
8.1.1 Costruzione delle “ricette” e validazione del metodo di estrazione .	131
8.1.2 Definizione del processo di analisi .....	147
8.1.4 Limiti di controllo e piano di reazione .....	148
<b>Capitolo 9-Conclusioni.....</b>	<b>152</b>
9.1 I risultati raggiunti.....	153
9.2 Stima dei costi legati alla contaminazione.....	154
9.3 Gli scenari futuri.....	157

<b>Elenco delle figure</b> .....	159
<b>Elenco delle tabelle</b> .....	162
<b>Bibliografia</b> .....	163
<b>Ringraziamenti</b> .....	165

## Introduzione

Questa tesi è il frutto di un lavoro durato sei mesi presso lo stabilimento Continental Automotive Italy S.p.A. di Fauglia, importante divisione del gruppo Continental, che rappresenta una delle più rilevanti realtà mondiali nell'ambito della produzione di elettroiniettori.

L' elettroiniettore è un componente di natura elettromeccanica finalizzato all'erogazione della giusta quantità di carburante al momento giusto. Questo prodotto fu sviluppato nei primi anni '80, per l'esigenza di disporre di un sistema di dosatura del carburante nei motori a combustione interna, che tenesse conto di tutte le situazioni di funzionamento del motore. Sostanzialmente si trattava di sostituire il carburatore, il quale, nonostante alcuni tentativi fatti, si rivelava inadeguato a svolgere tale compito. La necessità di dosare il carburante, tenendo conto dei parametri di funzionamento del motore, nasce da tre motivazioni:

- Ridurre le emissioni di sostanze inquinanti da parte dei veicoli nell'ambiente;
- Diminuire i consumi;
- Migliorare contemporaneamente le esigenze di coppia e di potenza dei motori.

I clienti a cui è indirizzato il prodotto Continental Automotive sono le più grandi case automobilistiche europee, americane ed asiatiche.

I costruttori di auto cercano da sempre di adeguarsi a quelle che sono le esigenze dei loro clienti, e, in questa ottica, in seguito alla grande campagna di sensibilizzazione, che è in atto ormai da quasi un ventennio su un utilizzo coscienzioso delle risorse del pianeta nel pieno rispetto dell'ambiente, c'è stato un crescente aumento della richiesta di auto "pulite".

La conferenza di Kyoto, che si è svolta nel dicembre 1997, è stata una grande kermesse internazionale che ha portato alla ribalta il problema del surriscaldamento del pianeta a causa dei gas ad effetto serra.

Nel corso dell'ultimo secolo la temperatura terrestre è aumentata di circa 0,5 gradi centigradi, mentre il livello medio degli oceani è cresciuto tra 10 e 20 cm. Sempre nel 20° secolo, la concentrazione in atmosfera di biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) è aumentata di circa il 30%: a questo aumento, provocato in larga misura dall'impiego dei combustibili fossili

come fonte di energia e calore, è attribuita la principale responsabilità della variazione di temperatura. Gli effetti del surriscaldamento della Terra sono già visibili: il ritiro dei ghiacciai e la perdita di biodiversità sono solo due esempi. Il settore dei trasporti, ed in particolare il trasporto su strada, è stato considerato uno dei responsabili della produzione di biossido di carbonio.

Sono stati quindi promossi accordi con le industrie automobilistiche europee (ACEA- Associazione dei costruttori europei di autoveicoli), giapponesi (JAM-Associazione dei costruttori giapponesi) e coreane (KAMA-Associazione dei costruttori coreani di autoveicoli) per stabilizzare le emissioni, principalmente attraverso l'uso di nuove tecnologie e adattamento del mercato a tali sviluppi.

Diverse possono essere le misure per imprimere una svolta positiva e frenare l'inquinamento del pianeta: misure fiscali legate ai veicoli, promozione dei trasporti pubblici, incentivazione di nuove tecnologie, sviluppo di un trasporto modale integrato (copertura delle lunghe distanze sfruttando la rete ferroviaria e consegne "porta a porta" sfruttando il trasporto su gomma). In realtà nessun risultato sarà completo e realmente efficace se non verrà "assimilato" dal consumatore: è questo l'obiettivo dell'intera campagna di sensibilizzazione per la salvaguardia del pianeta. Il risultato è che la crescente domanda di auto "pulite" sta rapidamente cambiando volto al mercato, incidendo sensibilmente sulle classifiche di vendite dei vari modelli e quindi, sulle quote delle diverse case costruttrici. Dalla fine degli anni '80 l'Unione Europea, fra le varie iniziative promosse per ridurre i gas ad effetto serra, ha iniziato a fissare rigide normative sulle emissioni dei veicoli. Sulla base di queste normative sono state individuate diverse categorie di appartenenza a cui fanno capo i veicoli prodotti dalle case automobilistiche. Sono le cosiddette Euro 1-2-3-4-5-6 a cui si associa la sigla Euro 0 per i veicoli più inquinanti, immatricolati prima del dicembre 1992 ed ormai in via di sparizione. La direttiva prende in considerazione cinque parametri, il monossido di carbonio (CO), gli idrocarburi (HC), gli ossidi di azoto (NOx), l'insieme di idrocarburi e ossidi di azoto e il particolato (PM) la famose (e famigerate) polveri sottili.

Lo sviluppo di motori potenti ma allo stesso tempo parsimoniosi in termini di consumi di carburante, quindi rispettosi dell'ambiente secondo la severe normative, prevede una fase di stretta collaborazione fra gli ingegneri che progettano il motore e quelli che mettono a punto il sistema di iniezione elettronica del carburante. In sostanza, esiste una

stretta relazione fra auto ecologiche e sistema di iniezione, ciò vuol dire che le case automobilistiche per omologare le loro automobili hanno bisogno di elettroiniettori capaci di:

- indirizzare il più possibile il carburante verso i cilindri e di polverizzarlo finemente;
- attuarsi nei tempi comandati dalla centralina;
- bloccare il flusso della benzina quando questo non è richiesto;

tutte queste peculiarità sono traducibili in:

- motori più brillanti ( maggiore coppia ai bassi regimi);
- minori consumi;
- minore inquinamento.

La Continental Automotive è un ottimo partner per l'innovazione nel campo della gestione elettronica del motore e dei sistemi di iniezione per motori con l'obiettivo di ridurre i consumi e minimizzare le emissioni, migliorando allo stesso tempo le performance del motore ed il piacere di guida.

I motori ad iniezione indiretta di benzina, differiscono da quelli ad iniezione diretta per le diverse modalità con cui il combustibile viene iniettato nei cilindri; infatti in questi ultimi il combustibile viene iniettato direttamente nei cilindri, mentre in quelli ad iniezione indiretta il combustibile viene iniettato nel collettore di aspirazione.

La Continental Automotive è attiva nella produzione sia di elettroiniettori ad iniezione indiretta (con pressione di funzionamento nell'ordine di 0.7-5 bar) che di elettroiniettori ad iniezione diretta (50-200 bar).

L'ultimo elettroiniettore sviluppato dalla Continental Automotive Italy S.p.A., per quello che concerne gli attuatori ad alta pressione (iniezione diretta), è il cosiddetto XL3 (il cui predecessore XL2 è comunque ancora in produzione presso lo stabilimento di San Piero a Grado) il quale rispetta la normativa europea sulle emissioni EURO 6 che entrerà in vigore dall'1 Settembre 2014, e tale prodotto sarà il protagonista principale di questo lavoro di tesi.

L'elettroiniettore XL3 è un prodotto modulare che può essere venduto in diverse configurazioni per potersi adattare alla geometria del motore cliente.

L'XL3 è allo stesso tempo un iniettore ingegneristicamente molto "semplice", ma tecnologicamente molto evoluto, quindi è un prodotto che è stato disegnato in modo tale da rendere più snello il processo che lo produce, e allo stesso tempo che è capace di assolvere a tutte le funzioni prima descritte in termini di aumento di potenza, riduzione dei consumi e riduzione delle emissioni. Da sottolineare il fatto che questo prodotto è stato progettato e sviluppato interamente negli stabilimenti di Pisa.

Un parametro molto critico, per quanto riguarda sia il processo che la funzionalità di questo nuovo elettroiniettore è la contaminazione dovuta ai componenti (che compongono l'elettroiniettore) e ai processi (che lo producono/assemblano).

Lo scopo primario che ci si è prefissati con questo lavoro di tesi, è quello di mettere in pratica un progetto, denominato "Total Clean Injector", di analisi, mappatura e riduzione della contaminazione relativamente alla produzione dell'iniettore XL3 su linea automatica.

Il progetto data la sua ampiezza coinvolgerà diverse aree, a partire dalla produzione, al laboratorio di analisi fino ai fornitori dei componenti aggredendo la contaminazione solida a zero ore a 360°, con l'obiettivo di riuscire a ridurla in maniera significativa.

L'individuazione del metodo di analisi e aggressione della contaminazione, e la sua messa in pratica, rappresenteranno, quindi, il fulcro di questo studio.

Oltre a ciò sarà fornito all'area di produzione un metodo di validità generale che potrà permettere un monitoraggio della contaminazione sui componenti in ingresso alla linea, direttamente in Clean Room e con un riscontro in tempo reale.

## Capitolo 1-Continental AG

### 1.1-Il gruppo Continental

Continental è il quarto più grande produttore di pneumatici del mondo, primo in Germania e secondo in Europa, il primo produttore di freni e sistemi di frenata ABS, ASC al mondo, nonché il quinto più grande fornitore dell'industria automobilistica.

Continental possiede i seguenti marchi di pneumatici: *Continental, Uniroyal, Semperit, Barum, General Tire, Euzkadi, Viking, Gislaved e Mabor.*

Diversamente da altri produttori di pneumatici, la produzione di tale prodotto (per cui è maggiormente nota) non impegna più del 30% della Compagnia, infatti la *Continental Automotive Systems* è la divisione più grande (come entità di fatturato) della compagnia, ed i relativi prodotti includono i freni, i programmi elettronici di stabilità (ABS...), ed in genere componenti elettronici per le automobili.

Una delle aree di lavoro del Gruppo Continental è la riduzione del consumo di carburante, tramite sistemi d'iniezione ad alta efficienza, pneumatici a basso consumo di carburante, e sistemi di propulsione ibrida.

Continental AG è strutturata in sei divisioni:

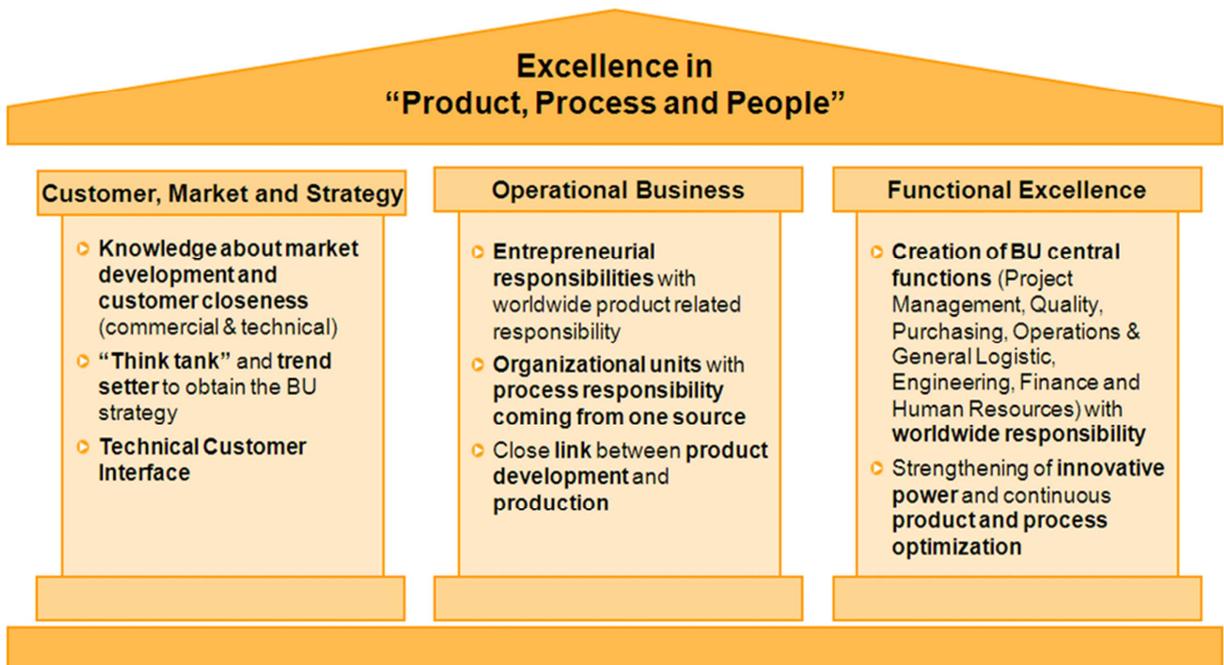
- Chassis & Safety
- Powertrain
- Interior
- Passenger & Light Truck Tires
- Commercial Vehicle Tires
- ContiTech

Lo stabilimento di Pisa fa parte della Business Unit Engine System che appartiene alla divisione Powertrain del gruppo Automotive di Continental. Di seguito è mostrata la struttura organizzativa della Continental AG nella quale è evidenziata la Business Unit Engine System.

Continental Corporation				
Automotive Group			Rubber Group	
Chassis & Safety	Powertrain	Interior	Tires	ContiTech
Electronic Brake Systems	Engine Systems	Instrumentation & Driver HMI	PLT, Original Equipment	Air Spring Systems
Hydraulic Brake Systems	Transmission	Infotainment & Connectivity	PLT, Repl. Business, EMEA	Benecke-Kaliko Group
Sensorics	Hybrid Electric Vehicle	Body & Security	PLT, Repl. Business, The Americas	Conveyor Belt Group
Passive Safety & Advanced Driver Assistance Systems (PSAD)	Sensors & Actuators	Comm. Vehicles & Aftermarket	PLT, Repl. Business, Asia Pacific	Elastomer Coatings
Chassis Components	Fuel Supply		Commercial Vehicle Tires	Fluid Technology
			Two Wheel Tires	Power Transmission Group
				Vibration Control
				Other Operations

**Figura 1.1-Struttura divisionale di Continental Corporation**

L'organizzazione di Engine System è basata sul concetto dei "tre pilastri portanti" (*three pillars*) di seguito rappresentati:

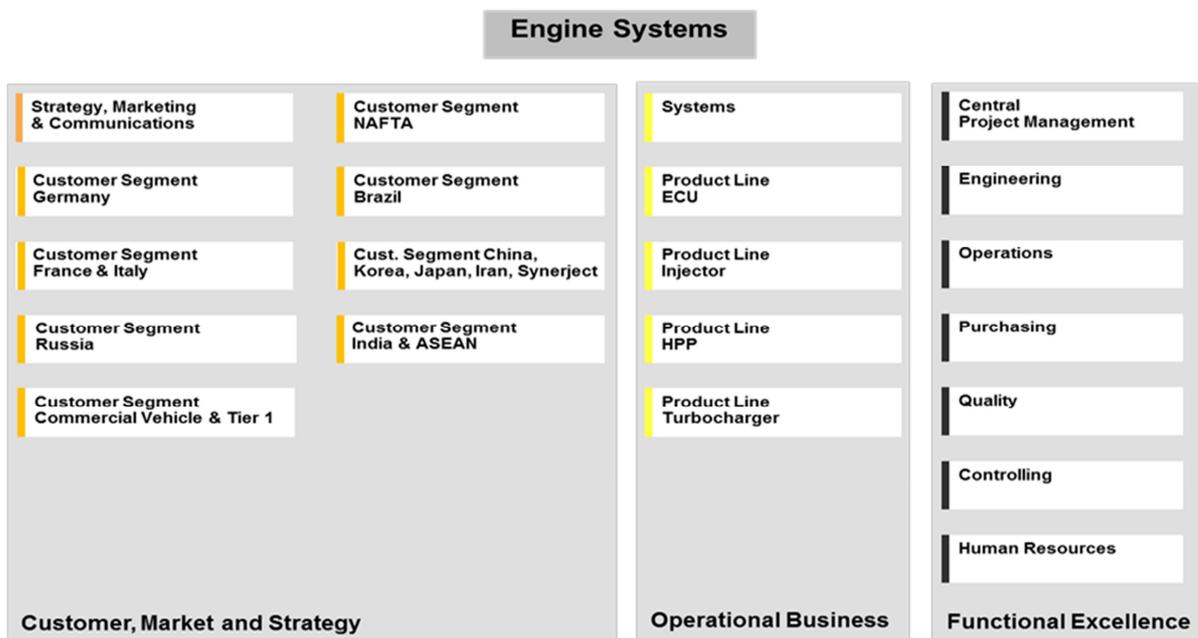


**Figura 1.2-Three Pillars of Continental Corporation**

Di seguito viene riportata una breve descrizione dei concetti che sono alla base dei tre pilastri portanti della organizzazione di Engine System:

- **Customer, Market and Strategy:** definizione e realizzazione di strategie di mercato orientate alle aspettative dei Clienti e alla crescita del volume d'affari della Business Unit
- **Operational Business:** responsabilità imprenditoriale del proprio Business, ovvero Product Lines che hanno Responsabilità "worldwide" sul proprio prodotto e sui propri processi. **Pisa** fa parte della "Product Line Injectors"
- **Functional Excellence:** funzioni di supporto centralizzate e orientate verso la continua ottimizzazione dei prodotti e dei processi.

L'Organizzazione di Engine System, sotto rappresentata, è pertanto strutturata in accordo ai concetti dei tre pilastri:



**Figura 1.3-Struttura organizzativa dell'Engine System**

### **1.1.1. Vision**

“Your mobility. Your freedom. Our Signature.”

Continental opera in una realtà di tecnologie intelligenti ed estremamente avanzate volte allo sviluppo della mobilità e del trasporto. L’azienda ha l’obiettivo di fornire le migliori soluzioni per ciascuno dei suoi clienti, nell’ambito di ogni mercato di riferimento. In tal modo, tutti gli stakeholders potranno riconoscere nell’azienda un partner capace di creare grande valore aggiunto altamente affidabile e rispettato.

### **1.1.2. Mission**

L’intento dell’azienda è quello di dar riscontro alla comune esigenza di una migliore e più efficiente mobilità, ivi compresi anche il trasporto di persone, d’informazioni e di materiali.

Ciò nasce dalla consapevolezza dell’importanza che mobilità e trasporto ricoprono quotidianamente la vita delle persone: l’obiettivo aziendale è quello di contribuire a soddisfare al meglio le esigenze che nascono negli ambiti ad essi correlati.

L’azienda, in qualità di leader del settore, progetta, sviluppa, produce e commercializza soluzioni tecnologiche indispensabili, in particolare nell’ambito dei quattro mega trends di sicurezza, ambiente, informazione e automobili a prezzi accessibili. Eccelle, inoltre, nella creazione di valore, attraverso procedure efficaci, efficienti ed innovative, mantenendo, in corso d’opera, elevati standard di qualità. Pensieri e azioni sono sviluppati in un approccio olistico, sistematico e strutturato: ciò dà modo all’azienda di trasformare, più rapidamente dei propri concorrenti, le idee in produzione massiva. Tramite lo sviluppo di tecnologie avanzate, i sistemi e le soluzioni per i servizi, la mobilità ed il trasporto sono resi più sostenibili, sicuri, confortevoli, personalizzati e convenienti.

### **1.1.3. Valori**

I valori fondamentali di Continental da cui scaturiscono i modelli di comportamento sono:

#### 1) Fiducia – Trust

Modelli di comportamento: Fiducia in noi stessi e negli altri, muoversi insieme al mondo che ci circonda, trasparenza, integrità/affidabilità, empatia, rispetto.

#### 2) Passione per il successo – Passion to win

Modelli di comportamento: spirito combattivo, orientamento alla qualità, eccellenza nell'esecuzione, agilità, passione, equità, apprendimento continuo.

#### 3) Libertà di agire – Freedom to Act

Modelli di comportamento: responsabilità e rendicontazione, spirito innovativo, orientamento al valore, sostenibilità, apertura mentale.

#### 4) Insieme – For One Another

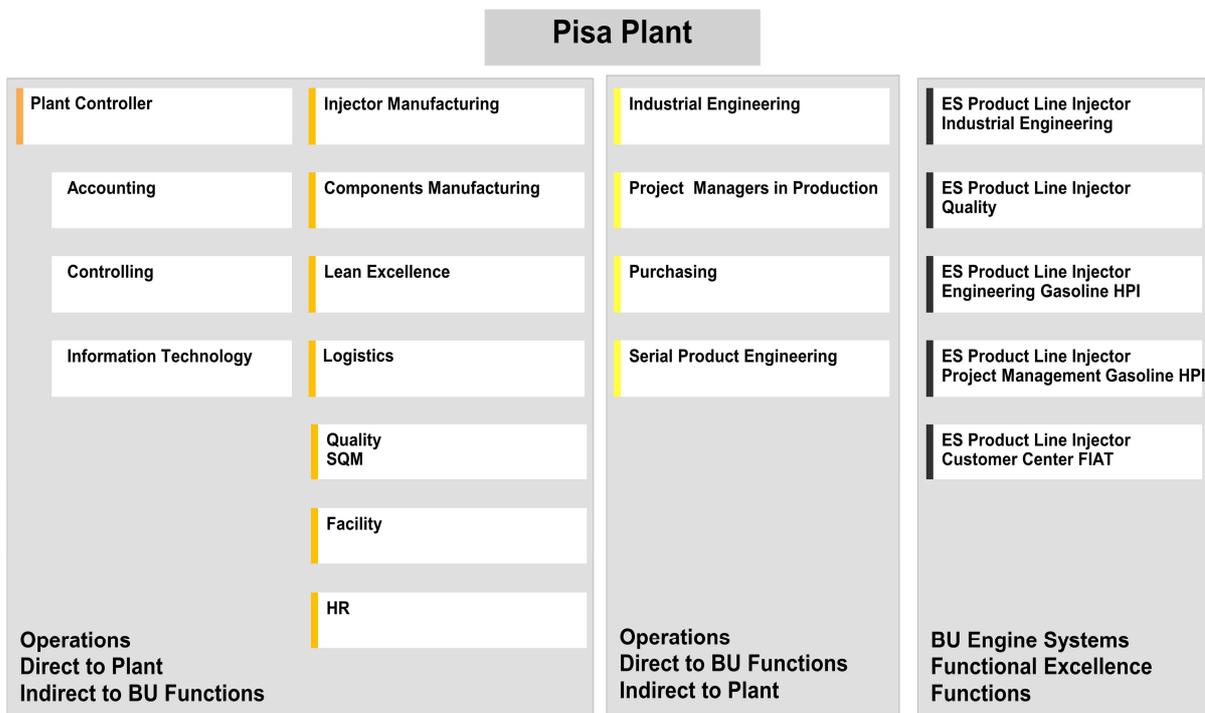
Modelli di comportamento: apprezzare e incorporare le peculiarità di ciascuno, disponibilità a condividere, onore, coesione, unire le forze, spirito di squadra e comportamento di relazione.

## **1.2-Pisa Plants**

Lo stabilimento di Pisa è ripartito in due siti industriali con sede l'uno a Fauglia e l'altro a San Piero a Grado, due località appartenenti alla provincia di Pisa, distanti fra loro circa 20 km. La sede legale della società è presso il sito di Fauglia.

Il Plant di Pisa ha funzioni di Operations per iniettori a benzina sia di alta che di bassa pressione. Pisa è inoltre centro strategico per la Ricerca e Sviluppo per gli iniettori a benzina ad alta pressione (HPI).

Lo schema dell'organigramma aziendale di seguito riportato rappresenta sia le funzioni che dipendono esclusivamente dall'organizzazione di Pisa sia quelle funzioni che, pur essendo presenti a Pisa, funzionalmente rispondono a funzioni presenti nella Business Unit di Engine System.



**Figura 1.4-Struttura organizzativa Pisa Plant**

Nella tabella di seguito è riportata la dislocazione delle suddette funzioni nei due siti di **Fauglia e San Piero a Grado**:

Reparto	Fauglia	San Piero a Grado
		
<b>Direzione Generale</b>	X	X
<b>Direzione Amministrativa (CFO)</b>	X	
<b>Pisa Plant</b>		
<b>- Customer Segments</b>		
<i>Customer Center FIAT</i>		X
<i>Customer Center VW</i>		X
<b>- Project Management HPI e LPI (PM)</b>	X	X
<b>-Project Management Production</b>	X	X
<b>- Engineering</b>		

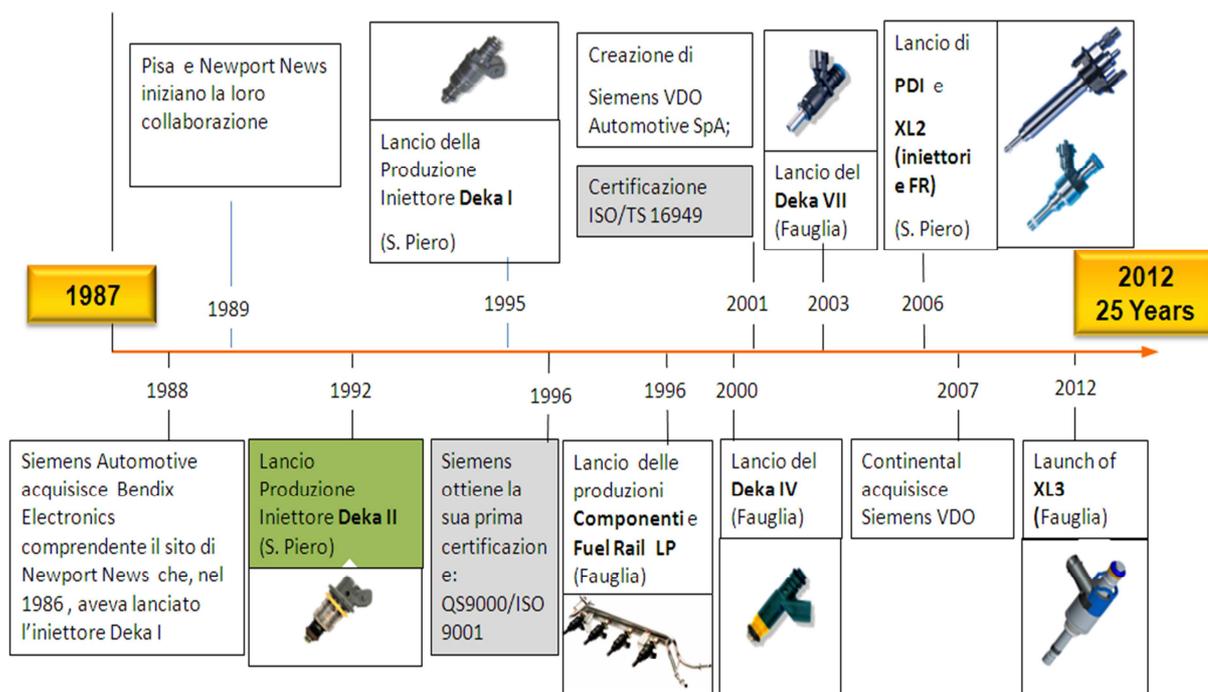
<i>Engineering GDI (Generic dev., Product. Support &amp; PCO, GDI Nozzle &amp; Spray Dev.)</i>		
<i>Application/ Product Eng. FR Assy / FRA Application Dev. &amp; Production Support</i>	X	X
<i>SDI / PDI Application Development</i>		X
<i>Advanced Development (Innovation)</i>		X
<i>Testing (Lab SDI, PDI PFI)</i>		X
<i>Serial/Application Engineering PFI</i>		X
<i>Functional Excellence, Computer Modelling, Endurance Testing Gasoline, Validation Methods &amp; Planning</i>		X
<i>Generic Project Management</i>		X
<b>- Injector Manufacturing (Manufacturing, Process Eng., Quality Control, Maintenance, Material Coordinator)</b>		
<i>LPI Injectors: Deka I, Deka II</i>		X
<i>LPI Injectors : Deka IV, Deka VII, Fuel Rail</i>	X	
<i>SDI Injectors : XL2- Fuel Rail</i>		X
<i>SDI Injectors : XL3 – Fuel rail</i>	X	
<i>Piezo Injector</i>		X
<b>- Components Manufacturing (Manufacturing, Process Eng., Quality Control, Maintenance, Material Coordinator)</b>		
<i>Solenoid Components</i>	X	
<i>Piezo Components</i>	X	
<b>- Plant Industrial Engineering</b>	X	X
<b>- Product Line Industrial Engineering</b>		
<i>Manufacturing Planning/New Product Launch Manager</i>	X	X
<i>Spray hole drilling Technology</i>		X

<i>Ass'y &amp; Test Process Industrialization</i>	X	X
<i>Shop Floor</i>	X	
<i>Hard-Soft Machining Industrialization/Techology development</i>	X	
<i>CNC Toolshop Advance Prototype</i>		X
<i>Sample Lab</i>		X
<i>Sample Logistic</i>		X
<b>- Logistic</b>		
<i>Customers &amp; Suppliers Scheduling (w Auxilliary Materials)</i>	X	X
<i>Physical Distribution ( Warehousing&amp;Receiving/ Transportation&amp;Packaging)</i>	X	X
<i>Production Scheduling</i>	X	X
<b>- Purchasing</b>		
<i>Advanced Purchasing</i>		X
<i>Not Productive Material (NPM)</i>	X	
<i>Plant Purchasing</i>	X	
<i>Category Purchasing</i>	X	
<i>CVA (Cost and Value Analysis)</i>	X	
<b>- Facility Management</b>		
<i>Facility Maintenance</i>	X	X
<i>EHS (Environmental, Healt and Safety)</i>	X	X
<i>Lay-Out</i>	X	
<b>- Quality</b>		
<i>Quality Engineers (Quality Manager for Project in Production)</i>	X	X
<i>Quality Management (Quality System and Documentation Center)</i>	X	

<i>Quality Labs (Reliability, PQL &amp; Metrology Lab)</i>	<i>X ( PQL &amp; Metrology Lab)</i>	<i>X (Reliability &amp; Metrology Lab)</i>
<i>Supplier Quality Management</i>	X	X
<i>QMP Projects</i>	X	X
<b>- Human Resources</b>		
<i>Business Partner, Administration, Union Relations</i>	X	
<i>HRD, Training, CIM</i>	X	
<i>Recruting, Insurances</i>	X	
<b>- Plant Controller</b>	X	
<b>- Accounting</b>	X	
<b>- Controlling</b>	X	
<b>- IT (Organization &amp; System Information)</b>	X	
<b>Quality KAM</b>	X	
<b>BU ES PL I Industrial Engineering</b>	X	
<b>BU ES PL I Quality</b>	X	
<b>BU ES Engineering PSA</b>	X	
<b>BU ES PSA Customer Center</b>	X	
<b>BU ES Project Management PSA</b>	X	
<b>BU ES Product Management</b>	X	

***Tabella 1.1-Suddivisione reparti stabilimenti Fauglia/San Piero a Grado***

Per quanto riguarda la storia degli stabilimenti pisani possiamo rifarci alla seguente linea del tempo, che parte dal 1987 quando lo stabilimento Siemens di Pisa fu creato a San Piero a Grado come parte dell'organizzazione Siemens Automotive per lo sviluppo e la produzione di elettroiniettori a benzina.



**Figura 1.5-Linea temporale prodotti Pisa Plant**

Segue ora l'elenco dei prodotti e dei clienti che caratterizzano la produzione dei 2 stabilimenti:

PRODOTTI	CLIENTI
Deka I	Audi, Autovaz, Daimler, GM, Kia, Renault, Synerject, VW.
Deka II	Hyundai, Kia, Mercury, Synerject.
Deka IV	Audi, Autovaz, BMW, Land Rover, Renault.
Deka VII	BMW, Daimler, GM, PSA Peugeot Citroen, Renault, Seat, Skoda, VW.
LPI Fuel Rail	Aston Martin, BMW, GM, Jaguar, Opel, Seat, Skoda, VW.
XL2	Audi, Daimler, GM, Hyundai, Kia, Porsche, PSA Peugeot Citroen, Renault
XL3	Ford, Audi, Porsche(PAG)
Piezo	BMW
HPI Fuel Rail	Daimler, GM, Renault

**Tabella 1.2-Prodotti e Clienti Pisa Plant**

Come detto in precedenza il focus di questo lavoro di tesi sarà incentrato sull'iniettore XL3, la descrizione di questo prodotto sarà svolta ed approfondita all'interno del capitolo 2.

Le principali certificazioni ottenute dagli stabilimenti Continental di Pisa sono:

- UNI EN ISO 9001
- ISO/TS 16949
- UNI EN ISO 14001

Il gruppo Quality Management è riferimento per il coordinamento di tutte le attività aziendali legate all'applicazione e allo sviluppo della normativa UNI EN ISO 9001 e ISO/TS 16949 ed ogni altra integrazione specificatamente richiesta dai clienti.

Il gruppo Quality Management recepisce le direttive Continental descritte nel QMS Manual.

Il gruppo Environmental Health and Safety (EHS) è invece il riferimento per il coordinamento di tutte le attività aziendali legate all'applicazione e allo sviluppo della normativa UNI EN ISO 14001 e relativo Manuale Ambientale.

## Capitolo 2-L'elettroiniettore XL3

### 2.1-Concetti base dell'iniezione elettronica

Un sistema di iniezione ha il compito di provvedere alla combustione interna in un preciso istante e con una misurata quantità di benzina, adeguatamente atomizzata e con un'orientazione geometrica ottimizzata in accordo alle geometrie e alle tempistiche del motore.

Esso fa parte di un più complesso sistema di gestione del motore che include altri congegni come sensori, attuatori, unità di memoria, di controllo e di elaborazione tali da permettere un funzionamento integrato del motore.

I vantaggi ottenuti sono da ricercare nel miglioramento in termini di consumi, emissioni, coppia e fluidità durante tutta la vita del veicolo.

In generale l'iniezione elettronica può essere classificata nei due seguenti tipi principali:

1. sequenziale fasata;
2. non sequenziale e non fasata.

Il primo tipo si basa su un'iniezione del combustibile in sequenza in ogni cilindro nell'istante desiderato (e quindi con la voluta fase rispetto al "Punto Morto Superiore" o PMS).

Esso si può presentare in due differenti modi:

- utilizzando un unico elettroiniettore inserito nel corpo farfalla (throttle body injector) a monte del punto di separazione dei condotti di aspirazione (sistema "single point");
- utilizzando un elettroiniettore per ogni cilindro posto nel collettore di aspirazione a valle della farfalla (sistema "multipoint").

Il sistema single point, non effettuando un'alimentazione separata per ogni cilindro, costituisce solo un limitato miglioramento in termini prestazionali rispetto ai precedenti

sistemi a carburatore, ma manifesta un sensibile miglioramento in termini di corretto rapporto di miscela, grazie all'utilizzo in concomitanza con la sonda lambda.

Il sistema single point è utilizzato su vetture di non elevate prestazioni.

Il sistema multipoint è dei due il più raffinato; inizialmente utilizzato per vetture ad elevate prestazioni, è ormai largamente diffuso. Con esso l'elettroiniettore apre una volta ogni due giri dell'albero motore (per un quattro tempi).

L'iniezione "non sequenziale e non fasata" è effettuata con un elettroiniettore per cilindro che eroga, contemporaneamente agli altri, una quantità di combustibile pari a metà del volume necessario, una volta ogni giro dell'albero motore (double fire).

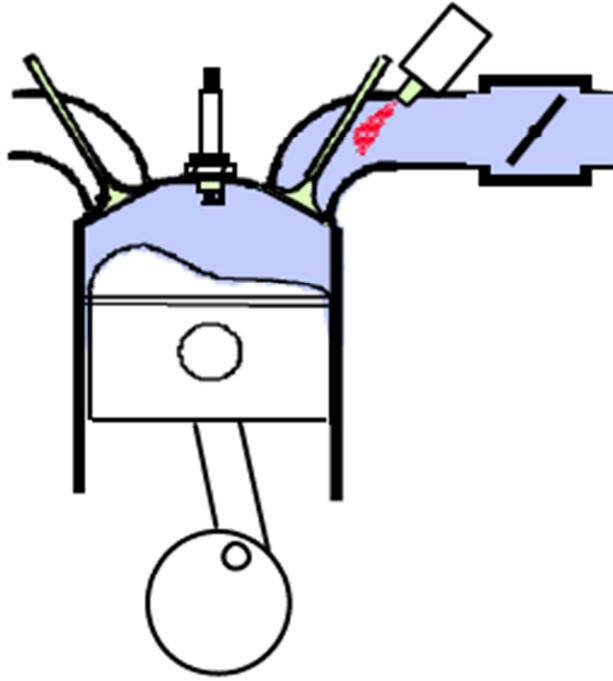
I vantaggi dell'iniezione elettronica, rispetto al tradizionale sistema a carburatore, sono notevoli e risiedono essenzialmente nel fatto che, in ogni condizione di funzionamento del motore, il sistema eroga una quantità di combustibile che è il miglior compromesso tra le varie esigenze e quindi consente:

- consumi inferiori;
- minori emissioni inquinanti;
- maggiore coppia e quindi migliori condizioni di guida;
- maggiore regolarità di funzionamento della vettura.

Il sistema ad iniezione elettronica, pertanto, garantisce un miglioramento delle prestazioni del motore e della vettura in generale; questo è il motivo del suo sempre crescente successo e diffusione, fino a diventare attualmente un componente insostituibile.

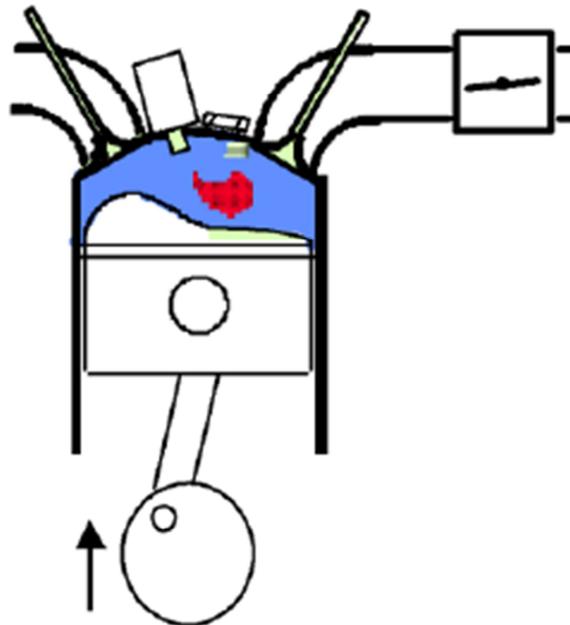
Un altro importante modo per classificare i tipi d'iniezione è la posizione in cui l'attuatore eroga il carburante:

➤ *Iniezione indiretta*: l'iniettore eroga il carburante nel collettore di aspirazione;



**Figura 2.1-Posizione iniettore bassa pressione**

➤ *Iniezione diretta*: l'iniettore eroga il carburante direttamente in camera di combustione.



**Figura 2.2-Posizione iniettore alta pressione**

Nel caso d'iniezione indiretta, l'iniettore si trova ad immettere un fluido ad una pressione assimilabile a quella atmosferica, mentre nel caso d'iniezione diretta l'attuatore si trova a dover fronteggiare una contropressione dovuta alla situazione di compressione, a

temperature elevate nella fase di combustione e a fenomeni d'accumulo di residui della combustione.

## **2.2-Il prodotto XL3**

L'elettroiniettore deve essere capace di rilasciare la benzina nel motore con uno spray ottimizzato, con il principale obiettivo di soddisfare le sempre più restrittive norme antinquinamento e di migliorare i motori dal punto di vista delle prestazioni in tutte le condizioni di funzionamento. La Continental AG è impegnata nel miglioramento della tecnologia dell'elettroiniettore e nello sviluppo di vari tipi di elettroiniettori e sistemi di iniezione nella continua ricerca della migliore efficienza e della soddisfazione dei clienti. Ogni cliente ha il proprio powertrain system ed i propri obiettivi sullo sviluppo del motore. Ogni motore ha delle esigenze diverse, poiché il background tecnologico ed i parametri di funzionamento sono unici.

### **2.2.1-Descrizione generale**

L'XL3 è un elettroiniettore a benzina ad iniezione diretta (quindi ad alta pressione), si tratta dell'ultimo nato in Continental ed è stato sviluppato interamente dagli ingegneri degli stabilimenti di Pisa.

L'elettroiniettore è praticamente una **valvola on/off**: esso infatti può essere *open/closed*. L'elettroiniettore normalmente è una *closed valve*. La bobina controlla la condizione di questa valvola.

L'elettroiniettore è aperto quando la corrente passa attraverso la bobina, è chiuso quando la corrente non vi passa: la corrente circola nella bobina e genera un campo magnetico. La forza magnetica così generata, solleva l'*ATB* nella *open position* (posizione aperta) vincendo la pressione del combustibile, la forza della molla e l'attrito. Questo permette alla benzina di attraversare l'iniettore ed uscire dai fori *della Seat*. Quando la corrente cessa il campo magnetico decade, ciò, in combinazione con la forza di compressione della molla e alla pressione esercitata dal fluido, fa tornare l'*ATB* nella *closed position* (posizione di riposo).

La dimensione dei fori *della Seat* sulla punta dell'elettroiniettore determina il quantitativo di benzina che fuoriesce dall'elettroiniettore quando è aperto. Nella realtà, all'elettroiniettore serve un lasso di tempo sia per aprirsi che per chiudersi. Questi tempi di apertura e di chiusura aggiungono un elemento di variabilità al carattere *on/off* della valvola di iniezione.

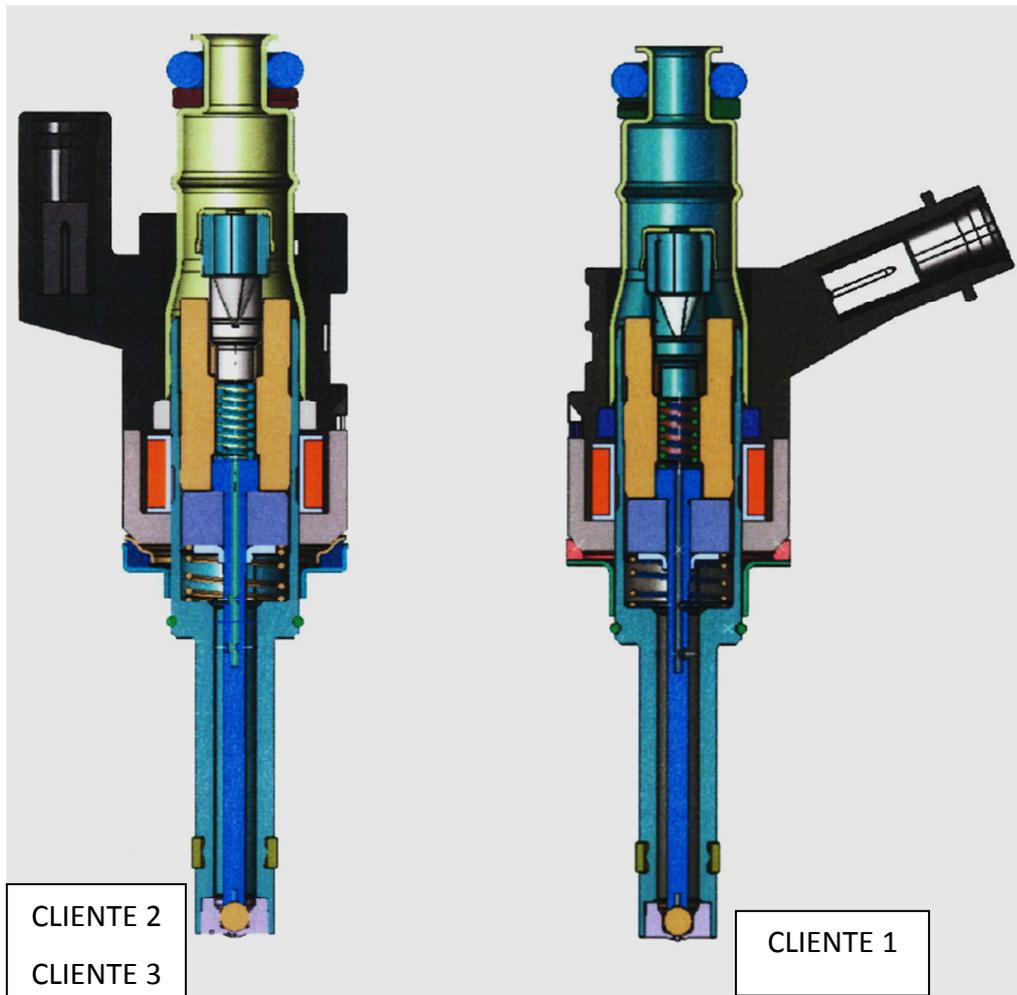


**Figura 2.3-Iniettore**

Si hanno differenti versioni di prodotto per i diversi clienti, esse variano sia in funzione delle caratteristiche di alcuni componenti interni all'iniettore sia in funzione del connettore esterno (in figura la parte di colore nero) che dovrà interfacciarsi con differenti strutture di alimentazione elettronica; in sostanza anche se si tratta dello stesso modello i prodotti dei diversi clienti sono caratterizzati da specifiche di riferimento diverse.

Da un cliente all'altro variano per esempio anche la corsa (lift set target e range target) e dettagli estetici come il colore dell'O-ring e del Back-up Ring.

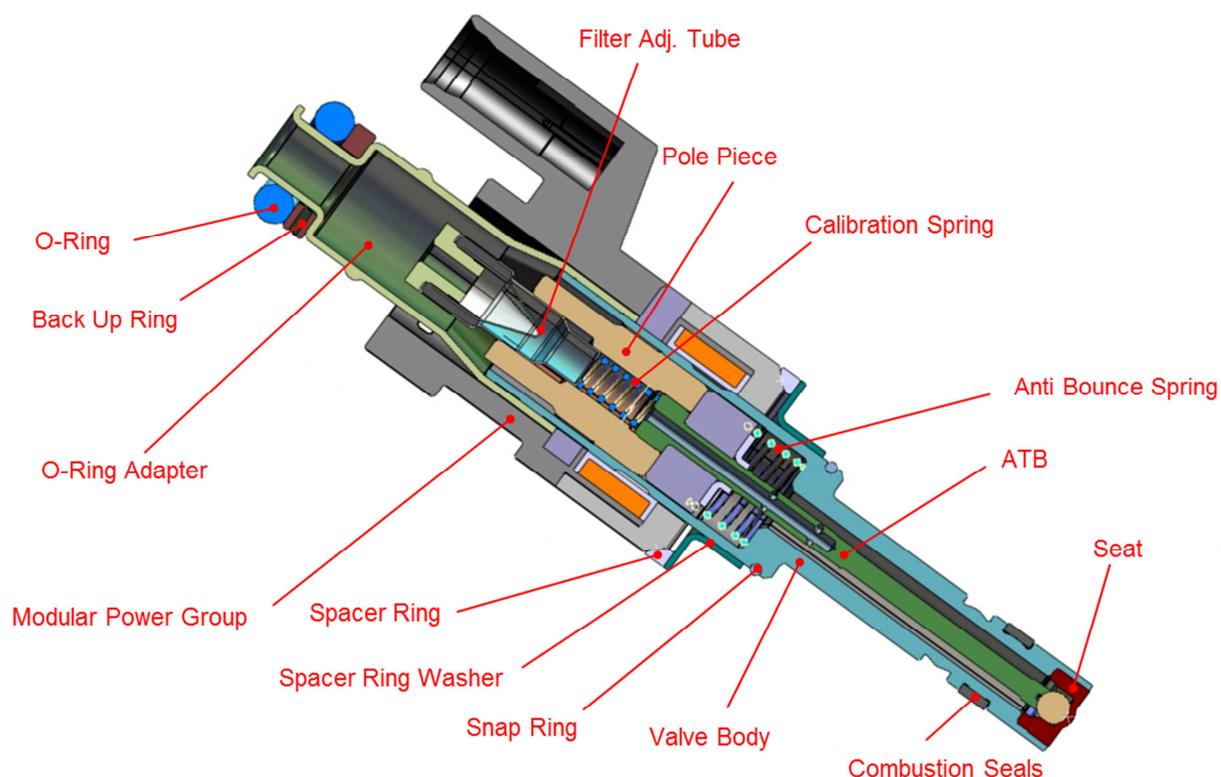
Dall'immagine sottostante possiamo osservare le differenze a livello di connettore fra differenti clienti.



*Figura 2.4-Sezione iniettore*

## 2.2.2-Componenti XL3

Dall'immagine seguente possiamo vedere in sezione tutti i componenti che compongono l'iniettore XL3:

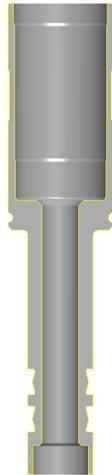


**Figura 2.5-Sezione con nomi componenti iniettore**

Passiamo ora ad una descrizione dettagliata di ciascuno di essi, per questo lavoro è infatti fondamentale conoscere alcune caratteristiche/peculiarità dei componenti che compongono l'elettroiniettore.

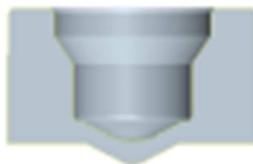
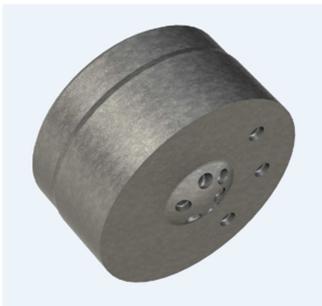
Oltre alla funzione del componente all'interno del prodotto iniettore, saranno specificati il materiale e la tipologia di lavaggio subita, informazioni molto importanti ai fini della "battaglia" alla contaminazione.

### Valve Body



<b>Funzione</b>	E' il "corpo" dell'iniettore sul quale gli altri componenti vengono assemblati.
<b>Materiale</b>	AISI 430
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Tray

### Sede



<b>Funzione</b>	E' il componente che permette la fuoriuscita del carburante. Provvede alla tenuta con la <i>Ball</i> quando la bobina non è energizzata(iniettore chiuso) e al controllo dello spray distribution.
<b>Materiale</b>	AISI 440
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Bulk

### **Antibounce Spring**



<b>Funzione</b>	Attutisce la ricaduta dell'ATB quando il campo magnetico decade e l'iniettore si richiude.
<b>Materiale</b>	AISI 302
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Bulk

### **Armature Tube Ball (ATB)**

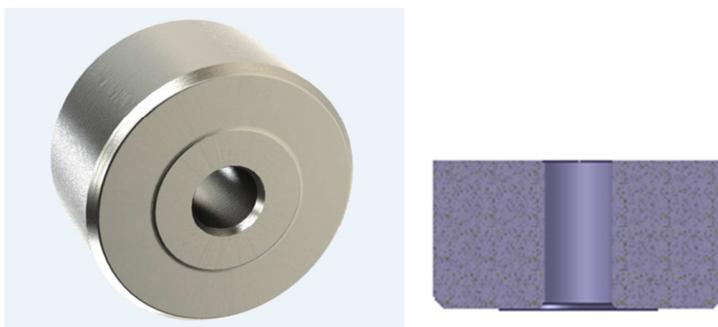


Questo componente denominato anche “ancorina” viene inserito nella linea di assemblaggio all’interno del Valve Body, esso è più propriamente un Sub-Assembly composto dai componenti Armature, Hydro Disc, Needle e Ball assemblati all’interno del Modulo ATB. Tale Sub-Assembly denominato anche “ancorina” ha il compito, grazie alla sua corsa all’interno dell’iniettore (dell’ordine delle decine di micron), di “chiudere ed aprire” l’iniettore in funzione del campo magnetico generato dalla bobina.

<b>Funzione</b>	La funzione principale è quella di permettere “l’apertura e la chiusura” dell’iniettore in funzione del campo magnetico generato dalla bobina. Esso è anche attraversato dalla benzina, la quale fuoriesce dai fori laterali del Needle.
<b>Materiale</b>	AISI 304 (Needle/Hydro Disc)-AISI 440(Ball)- ChromeCore 13-XP (Armature)
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Bulk

Descriviamo quindi i componenti che lo compongono.

#### **Armature**



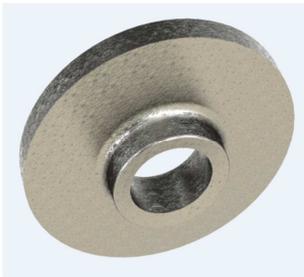
<b>Funzione</b>	All’attivazione del campo magnetico, grazie alla sua elevata permeabilità magnetica, viene sollevata insieme a tutto l’ATB permettendo l’apertura dell’iniettore. La parte superiore è caratterizzata dalla presenza dell’impact face ovvero la superficie che durante la risalita dell’ATB entra a contatto con il Pole Piece e permette lo stop dell’ancorina stessa.
<b>Materiale</b>	ChromeCore 13-XP
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Bulk

**Integrated Needle**



<b>Funzione</b>	Permette la fuoriuscita della benzina dai 4 fori laterali, è il corpo dell' "ancorina" e su di esso vengono assemblati Armature, Ball e Hydro Disc.
<b>Materiale</b>	AISI 304
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Bulk

**Hydro Disc**



<b>Funzione</b>	Ha la funzione di attutire ed arrestare la ricaduta dell' <i>Armature</i> quando la bobina non è più energizzata grazie al film di fluido che si viene a creare tra l' <i>Hydro Disc</i> stesso e l' <i>Armature</i> .
<b>Materiale</b>	AISI 304
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Bulk

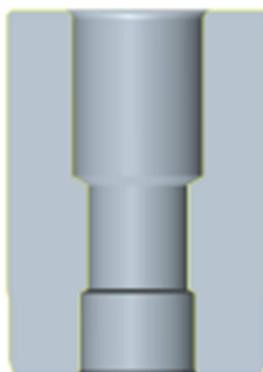
### Ball



<b>Funzione</b>	Provvede a creare una superficie di tenuta con la sede; per questo è dotata di appropriata resistenza per la durata e rotondità della superficie di tenuta per evitare le perdite.
<b>Materiale</b>	AISI 440
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

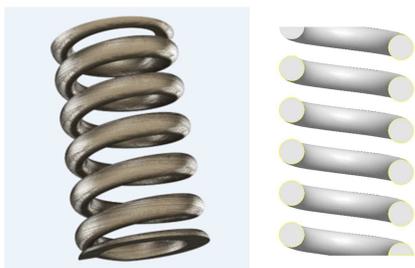
Seguono ora gli altri componenti che compongono l'elettroiniettore.

### Pole Piece



<b>Funzione</b>	Nella parte superiore del componente viene inserito il filtro mentre la superficie inferiore rappresenta la superficie di stop per l'armature dell'ATB, anche detta impact face. Al suo interno è posizionata la <i>Calibration Spring</i> che è a contatto con la parte superiore del <i>Needle</i> .
<b>Materiale</b>	ChromeCore 13-XP
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Tray

### Calibration Spring



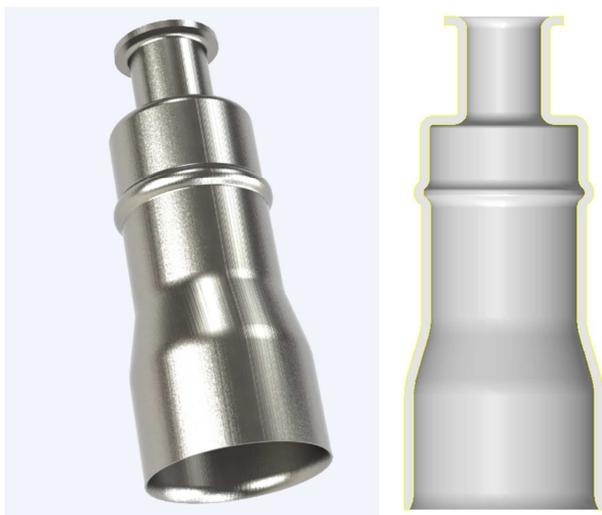
<b>Funzione</b>	Permette la calibrazione dell'iniettore e va a definire quindi la forza di tenuta dell'ATB. Permette di vincere l'adesione idraulica, la forza magnetica e l'attrito dando luogo alla chiusura dell'iniettore.
<b>Materiale</b>	AISI 631
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Bulk

### Filter Adjusting Tube



<b>Funzione</b>	La sua funzione è quella di impedire il passaggio alle particelle di grandezza superiore ai 35 micron.
<b>Materiale</b>	AISI 305 (parti metalliche), PA 66 GF30 e PEEK
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

### Oring Adapter



<b>Funzione</b>	Chiude la parte superiore dell'iniettore, su di esso verranno montati l'O-Ring, il Back-up Ring ed il Modular Power Group.
<b>Materiale</b>	AISI 305
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Lavato in Tray

### O-Ring



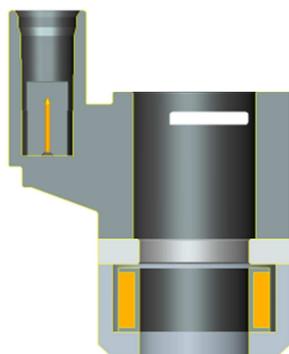
<b>Funzione</b>	Ha il compito di generare una superficie di tenuta tra l'iniettore ed il Fuel Rail sul quale esso viene montato in modo che il combustibile non fuoriesca. Il suo colore varia a seconda del cliente per facilitare l'identificazione dell'iniettore.
<b>Materiale</b>	VPL-30 (FKM)
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

### **Back-up ring**



<b>Funzione</b>	Ha principalmente una funzione estetica, serve infatti per identificare le differenti tipologie di iniettore.
<b>Materiale</b>	PA66
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

### **Modular Power Group**



<b>Funzione</b>	Al suo interno contiene il solenoide che ha la funzione di generare il campo magnetico necessario al sollevamento dell'ATB. E' dotato di connettore che permette la connessione elettrica tra l'iniettore ed il motore.
<b>Materiale</b>	CuSn6-PA66 GF35-eplate Ag(electrodeposited Silver Coatings)- X6Cr17-Cu ETP1- PESTI-PAI
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

### Spacer Ring



<b>Funzione</b>	Fornisce un supporto/appoggio per il montaggio dell'iniettore sul motore insieme allo spacer retainer washer.
<b>Materiale</b>	AISI 304
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

### Snap Ring



<b>Funzione</b>	Ha la funzione di evitare la fuoriuscita dello spacer ring e dello spacer retainer washer dalla propria posizione.
<b>Materiale</b>	AISI 301
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

### Spacer Retainer Washer



<b>Funzione</b>	Fornisce un supporto/appoggio per il montaggio dell'iniettore sul motore insieme allo spacer ring.
<b>Materiale</b>	AISI 304
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

### Combustion Seal



<b>Funzione</b>	La sua funzione è quella di generare una superficie di tenuta tra l'iniettore e la camera di combustione nella quale esso viene inserito.
<b>Materiale</b>	PTFE
<b>Lavaggio Clean Room</b>	Non lavato

Avere chiaro il materiale dei componenti e le lavorazioni subite sarà fondamentale per il progetto in questione, soprattutto per quanto riguarda i componenti presenti prima dell'inserimento del filtro, poiché a quel punto l'iniettore sarà "chiuso" e protetto da eventuali particelle contaminanti ritenute dannose.

Le immagini e la descrizione dei componenti sopra mostrate sono relative ad una delle configurazioni di prodotto in commercio, ma come detto in precedenza alcuni componenti si differenziano per i prodotti dei diversi clienti (per caratteristiche geometriche/lavorazioni/materiali differenti). In relazione al progetto in questione descriviamo in cosa differiscono i componenti assemblati prima dell'inserimento del filtro:

- Seat (alcune caratteristiche geometriche variano per ogni modello date le differenti esigenze di spray e di portata, non varia il diametro esterno dato che vengono piantate tutte sullo stesso Valve Body e non varia nemmeno il materiale);
- ATB (le varie tipologie di ATB variano in funzione alla geometria del componente Hydro Disc);
- Calibration Spring (esistono due tipologie con differente geometria);
- Filter Adjusting Tube (esistono due tipologie con differente forma e materiale del cappuccio superiore del filtro, cioè la parte che si trova "a monte" della membrana filtrante).

### **2.2.3-Caratteristiche principali dell'elettroiniettore XL3**

Quando viene applicato un voltaggio alla bobina dell'iniettore, una corrente, che cresce da un valore nullo fino ad un valore asintotico, inizia a passare in essa.

La forza magnetica così generata solleva l'ATB e lo muove non appena che essa riesce a vincere :

- la pressione idraulica;
- la forza della molla;
- l'attrito fra le superfici in contatto.

Il movimento continua fino allo stop dell'ATB contro il *Pole Piece* e, quando, cioè, l'iniettore è completamente aperto.

Quando la corrente nella bobina cessa, la forza magnetica diminuisce: l'ATB è spinto giù e incomincia a muoversi non appena che la forza della molla vince:

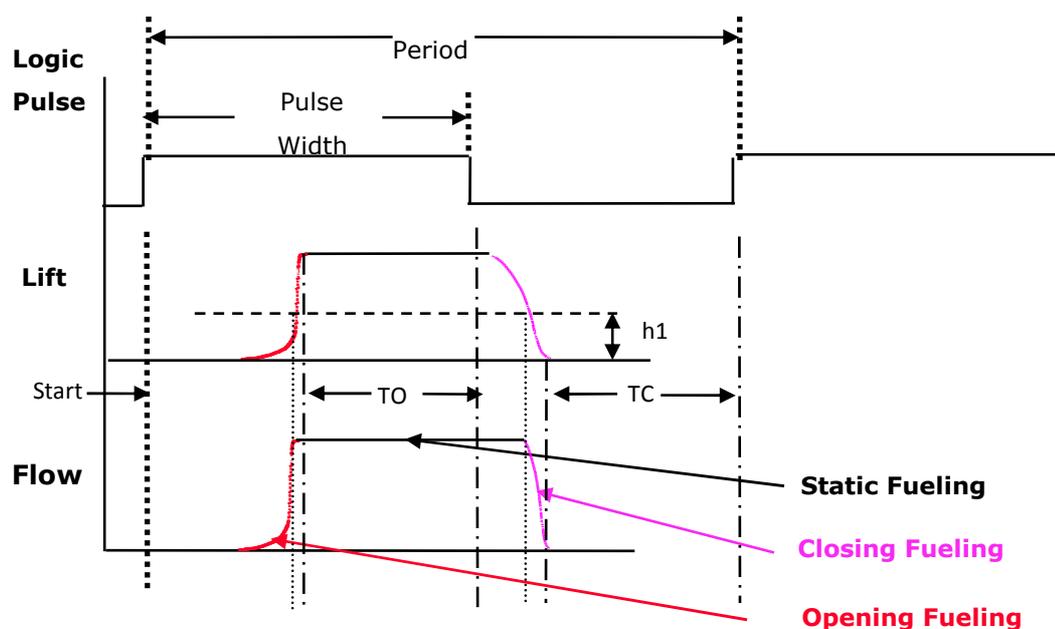
- l'adesione idraulica;
- la forza magnetica;
- l'attrito.

La benzina attraversa la *Seat* quando l'ATB inizia a muoversi .

Il flusso istantaneo (cioè il quantitativo di benzina per unità di tempo rilasciato in ogni generico momento durante l'impulso) dipende principalmente da due sezioni idrauliche poste "in serie": i fori della *Seat*, che sono costanti, ed il passaggio tra la *Ball* e la *Seat*, che è variabile durante il movimento dell'ATB ed è dipendente dalla geometria.

Generalmente la seconda è progettata per divenire più grande della prima dopo una piccola porzione di "lift" ( $h_1$ ) perciò il flusso raggiunge un massimo che dipende esclusivamente dai fori sede e si raggiunge prima ancora che l'iniettore sia completamente aperto.

Inversamente, durante la chiusura, il flusso istantaneo incomincia a diminuire appena l'ATB ritorna ad ( $h_1$ ) e l'effetto della sezione *Ball-Seat* (sezione variabile) ridiventa di nuovo significativo. A seguire è presente lo schema di funzionamento dell'iniettore.



**Figura 2.6-Schema di funzionamento dell'elettroiniettore**

**Logic pulse** : segnale TTL fornito alla " driving card " in modo tale da applicare un voltaggio all'iniettore

**Pulse width** : durata della condizione di "ON" per il segnale logico (msec)

**Period** : tempo che intercorre fra due impulsi seguenti (msec)

(pulse width e period controllano il quantitativo di benzina spruzzato dall'iniettore)

**Frequency** :  $1/\text{Period}$  ( Hz)

**TO**: tempo di completa apertura dell'ATB (*time to open*)

**TC**: tempo di completa chiusura dell'ATB (*time to close*)

Il flusso statico (in pratica il quantitativo di benzina per unità di tempo rilasciata quando l'elettroiniettore è completamente aperto) è determinato sulla base dell' energia termica richiesta e del flusso di aria aspirata dal motore, dipende inoltre dalle specifiche sul consumo di benzina e dalla pressione di funzionamento del sistema; tale flusso come vedremo è un indicatore fondamentale della presenza di contaminazione all'interno dell'iniettore.

La forza della molla applicata all'ago è definita sulla base dei requisiti di *set point* della dinamica nella partenza a freddo (*minimum operating voltage*), alle basse richieste di benzina (*low pulse width linearity*) e per la soddisfazione delle esigenze di una calibrazione esistente.

Il flusso dinamico dell'iniettore (cioè la quantità totale di benzina rilasciata durante l'impulso, che è l'area racchiusa sotto il grafico del flusso istantaneo), al contrario del *Pulse width* , per un dato *Period* , può essere approssimato con una funzione lineare che è usata dalla ECU per fare il controllo dell'iniezione.

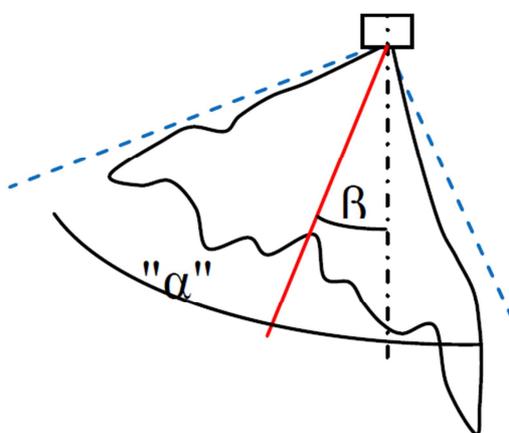
La pendenza (il coefficiente angolare) della linea è approssimativamente uguale al flusso statico.

L' intersezione con l'asse del *Pulse width* è chiamato "*Offset* "

Il flusso reale devia dalla linearità principalmente nel punto più basso e nel punto più alto della linea . Il range di funzionamento nel quale un iniettore si comporta in maniera lineare è chiamato "*linear flow range* (LFR)" ed il range di funzionamento nel quale la

popolazione degli iniettori si comporta in maniera costante è definito " *working flow range* (WFR) "

La progettazione della Seat e del tip Seat/Needle sono invece determinati dallo spray targeting e dai requisiti di atomizzazione dell'applicazione. L'elettroiniettore è posizionato in modo tale da indirizzare la benzina all'interno del cilindro, quindi, il primo aspetto dello spray targeting è di studiare la geometria del cilindro e determinare la migliore soluzione dello spray per evitare di "bagnare" le superfici. Al termine di questa analisi si sceglierà un tipo di spray, che sarà il più adatto a raggiungere l'obiettivo di spruzzare in modo ottimizzato la benzina nei cilindri.

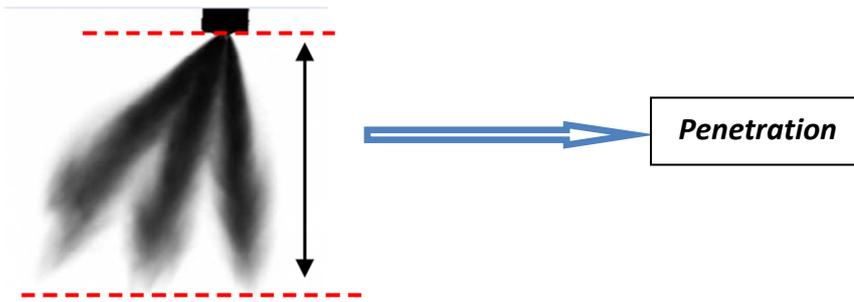


**Figura 2.7-Spray angle**

Prendendo ad esempio una tipologia di iniettore XL3 tra quelli in produzione, si ha uno spray cone angle  $\alpha = 71^\circ \pm 5^\circ$  e uno spray bent angle  $\beta = 0^\circ \pm 5^\circ$ .

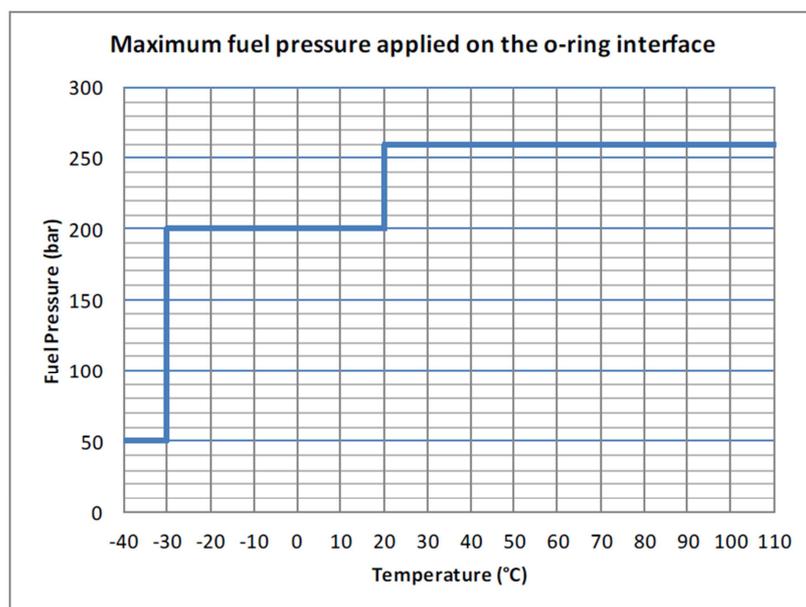
L'atomizzazione è la frammentazione del combustibile in miriadi di gocce e sta diventando sempre più importante per la qualità dell'iniettore poiché va da impattare significativamente sulle performances del motore in termini di risposta, emissioni, ecc. Ci sono diversi parametri per quantificare l'atomizzazione dello spray, generalmente riferiti ad un "diametro medio". Questi parametri derivano da distribuzioni statistiche di misurazioni sperimentali della goccia, matematicamente valutate da differenti formule in accordo con il significato fisico che loro vogliono enfatizzare.

La penetration è invece la capacità del fronte dello spray di muoversi nella zona di combustione contro il violento flusso di aria dovuto alla compressione in ascesa nel cilindro, per esempio per una versione XL3 il penetration maximum value è 48 mm.



**Figura 2.8-Spray penetration**

Di seguito è mostrato il massimo livello di pressione che può essere applicato all'iniettore per un funzionamento corretto.



**Figura 2.9-Chart of Maximum fuel pressure applied on the o-ring interface Injector**

Fluid Temperature	Max allowed fluid pressure [bar]	Max exposure Time for each occurrence of T condition [sec]	Assessment
from -40°C to -30°C	50	120	Wetting permissible. No droplet formation
from -30°C to -10°C	200	120	No wetting. No droplet formation
from -10°C to 20°C	200	[-]	No wetting. No droplet formation
from 20°C to 110°C	260	[-]	No wetting. No droplet formation

**Tabella 2.1- Maximum fuel pressure applied on the o-ring interface Injector**

### 2.2.4 -Flow chart linea XL3

Ai fini dello studio sulla contaminazione, è fondamentale avere chiaro il processo di assemblaggio dell'iniettore XL3 con particolare attenzione per le fasi antecedenti all'inserimento del filtro, che come detto in precedenza, rappresenta una barriera impenetrabile per la contaminazione di dimensioni ritenute "dannose" per il funzionamento del prodotto.

Nella figura sottostante possiamo vedere il layout della linea di assemblaggio.

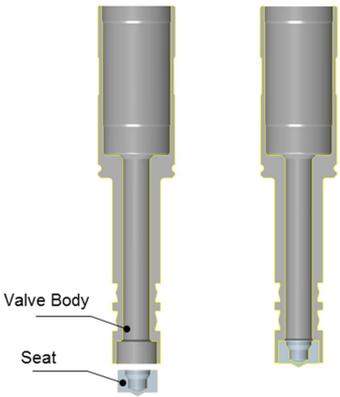


**Figura 2.10-Layout Assembly Line**

Il processo è di seguito raccontato secondo la suddivisione nei diversi moduli utilizzati:

**MOD10:**

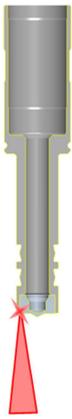
- Pallet Cleaning
- Load Valve Body on rotary table nest
- Seat Automatic load
- Press Fit Seat into VB
- Rotary table nest cleaning



Valve Body  
Seat

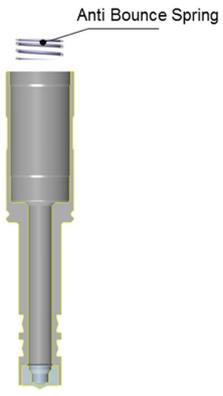
**MOD20:**

- Weld Seat to VB
- Seat Welding Joint Vision Check



**MOD25:**

- Anti Bounce Spring Insertion
- Anti Bounce Spring Presence Check



Anti Bounce Spring

**MOD30:**

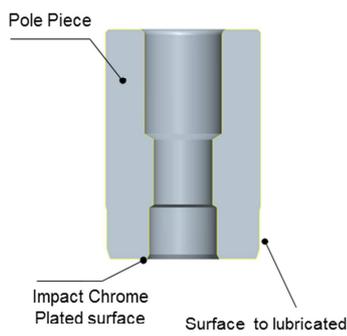
- Check ATB Type
- ATB Insertion into Valve Body



ATB

**MOD40:**

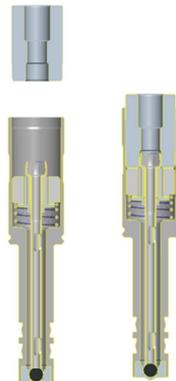
- Check Pole Piece Type
- Pole Piece Coining
- Pole Piece Lubrication
- Pole Piece Insertion into Valve Body



Pole Piece  
Impact Chrome Plated surface  
Surface to lubricated

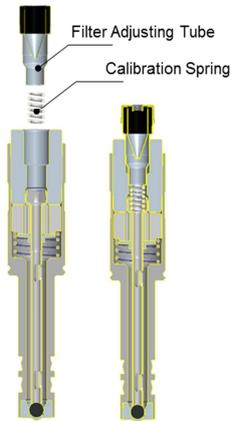
**MOD50:**

- Lift Setting and Lift Check



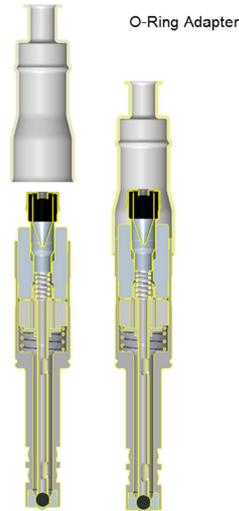
**MOD60:**

- Calibration Spring Insertion
- Calibration Spring Type and Presence Check
- Filter Type Check
- Filter Insertion and Pre Press



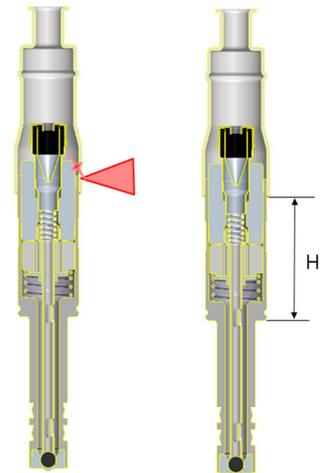
**MOD70:**

- O-Ring Adapter Type Check
- O-Ring Adapter to Valve Group Press Fit



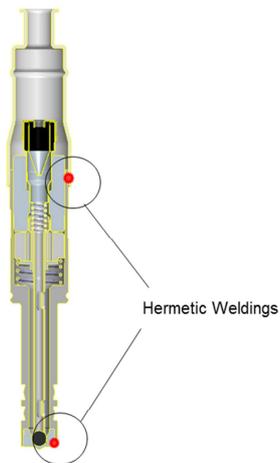
**MOD80:**

- O-Ring Adapter to Valve Group Laser Weld
- O-Ring Adapter Welding Joint Vision Check
- 100% H dimension measurement



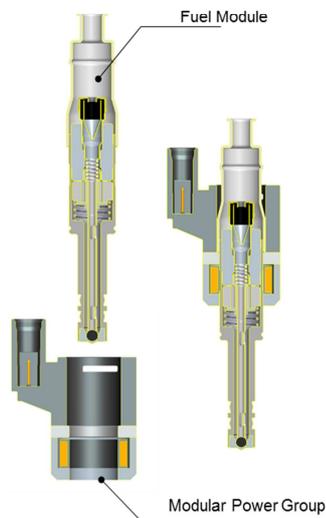
**MOD90:**

- Fuel Tube Ass'y Leak Test



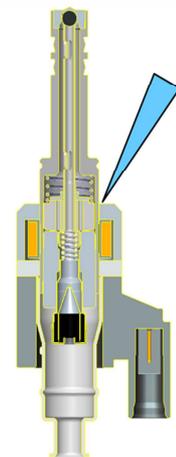
**MOD100:**

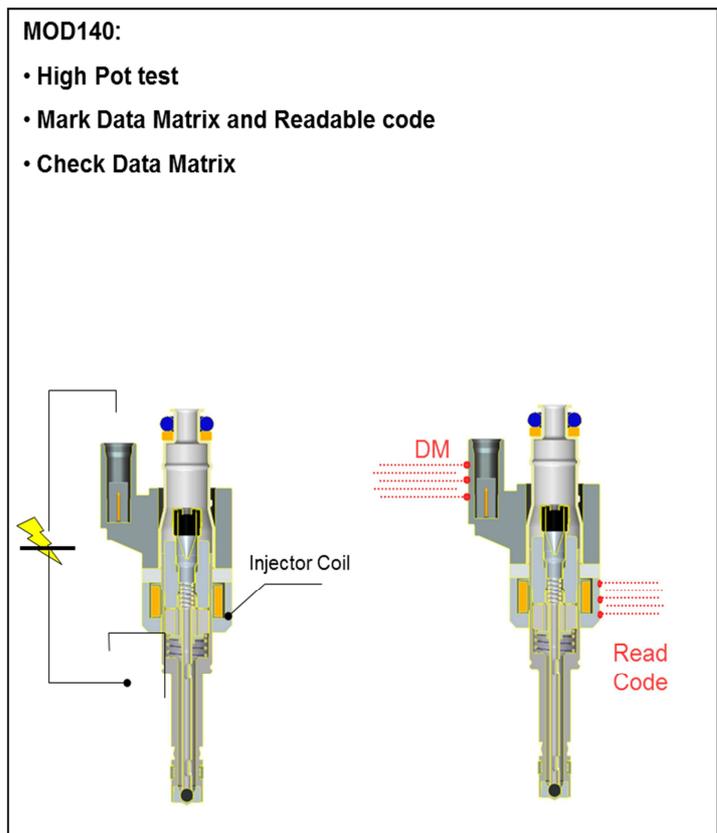
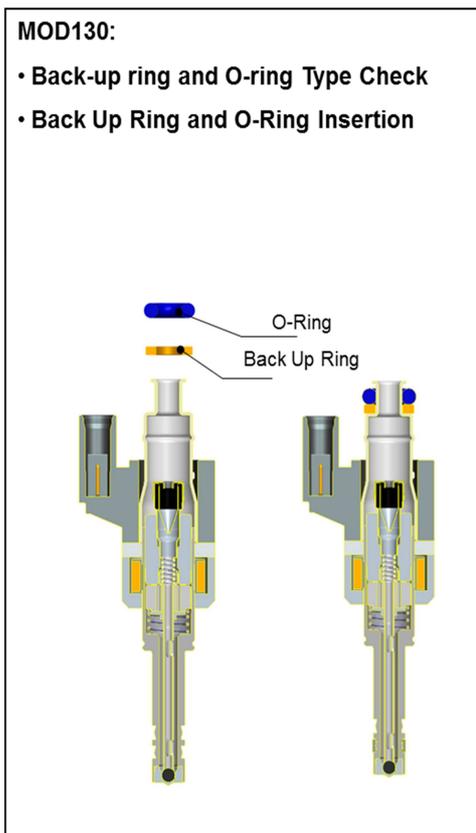
- MPG Type Check
- Orient and Press Fit MPG
- Check Valve Orientation



**MOD110:**

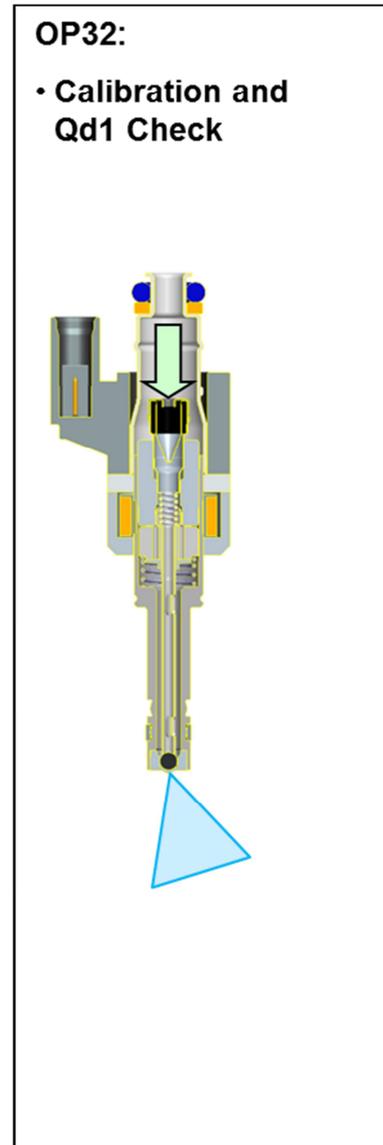
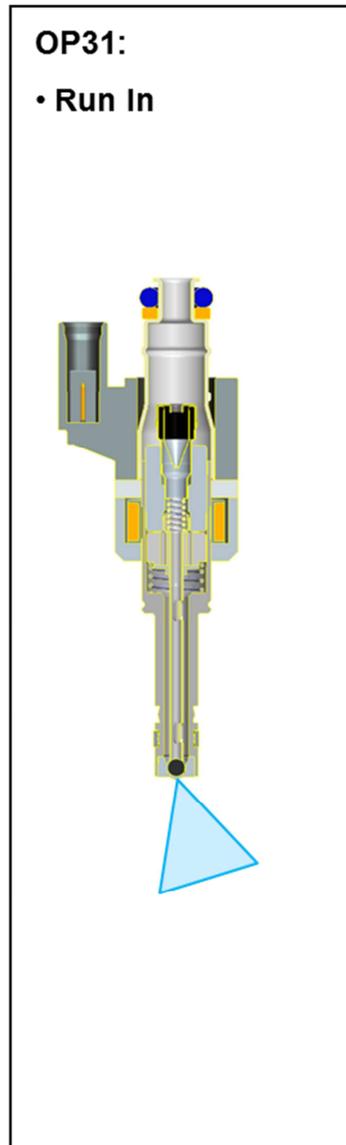
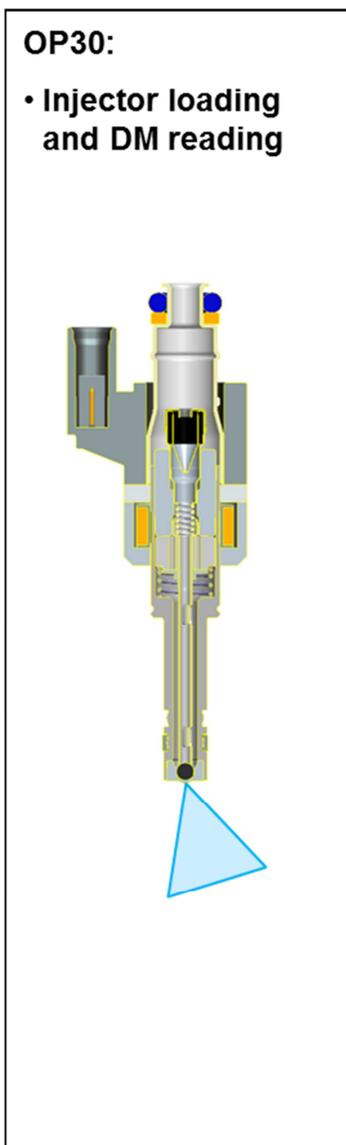
- Modular Power Group gluing
- UV Curing
- Check presence and position of glue

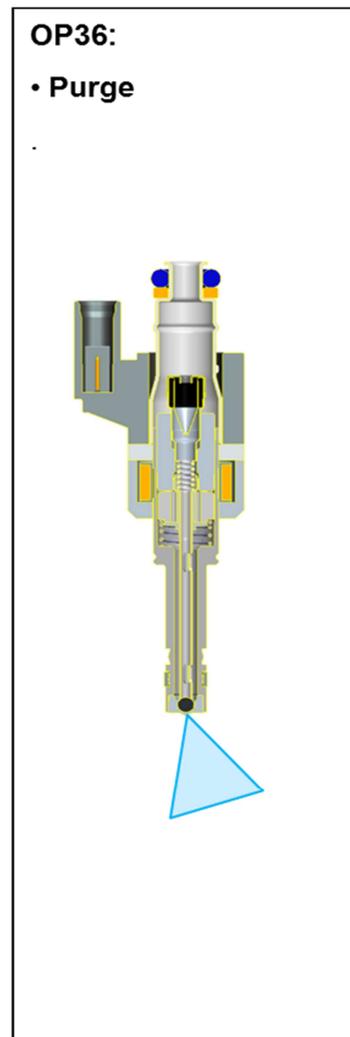
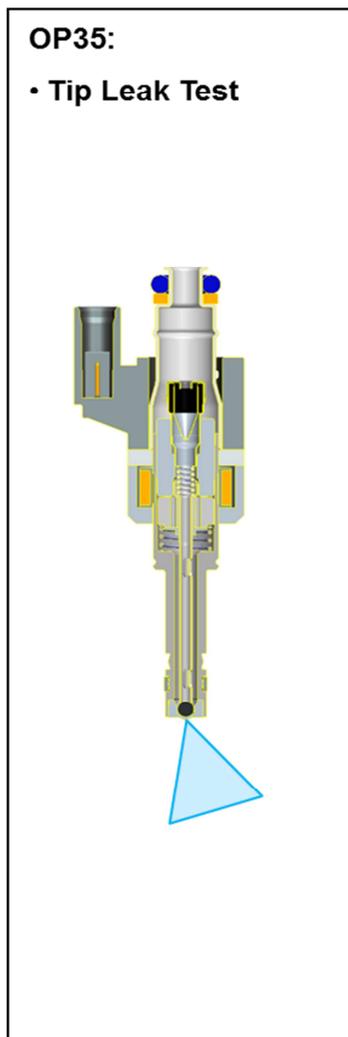
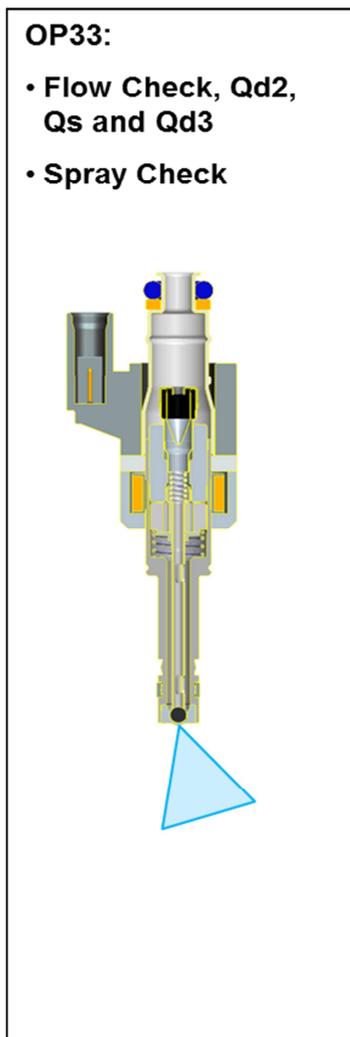




Per le ragioni anticipate precedentemente, e dettagliate nei capitoli seguenti, i moduli su cui sarà concentrato il progetto (Total Clean Injector) per quanto riguarda la linea di assemblaggio saranno quelli che vanno dal M10 al M60 compreso (modulo inserimento filtro).

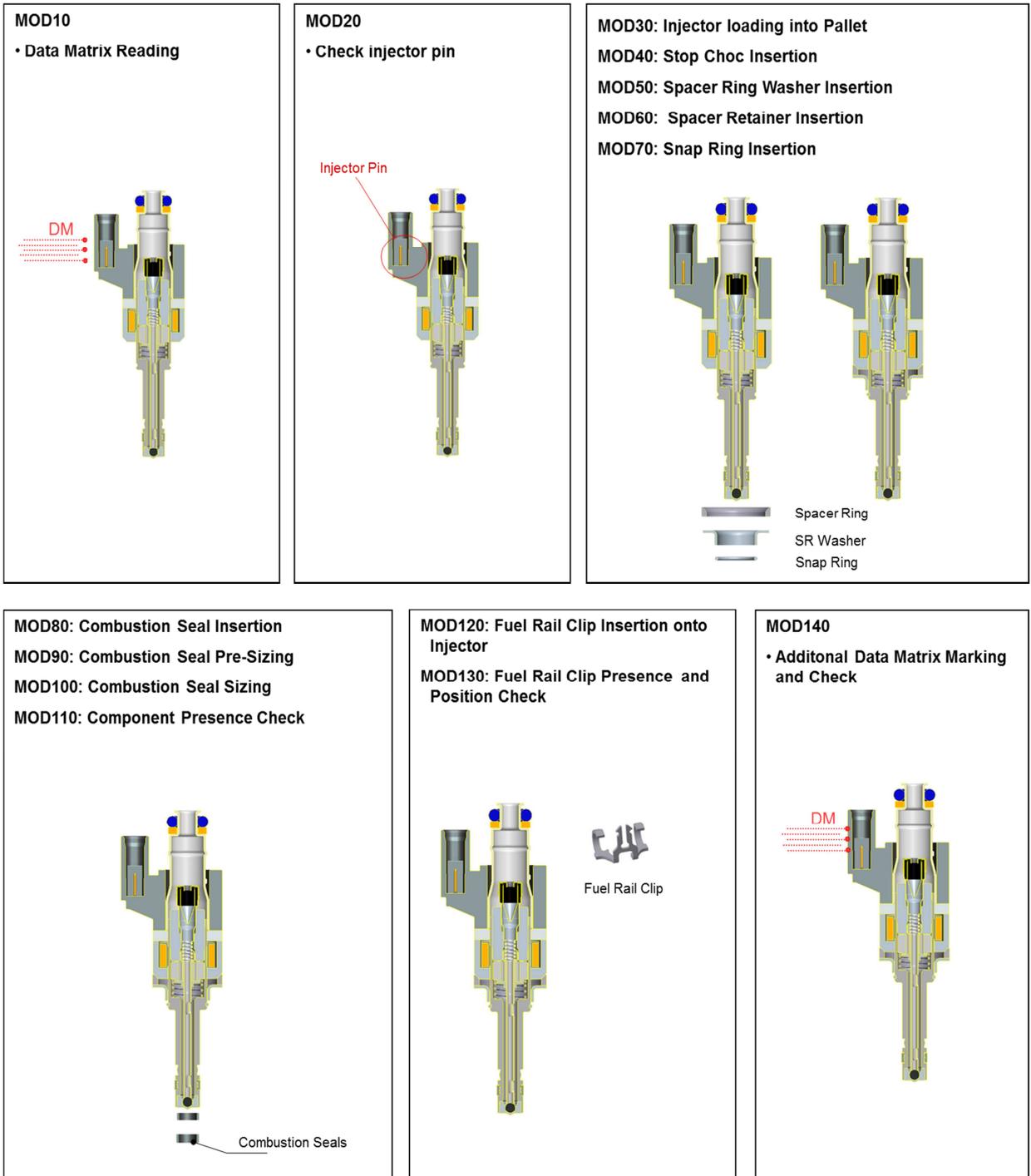
Vediamo comunque ora, per avere una visione d'insieme anche le operazioni che sono svolte a seguito della linea di assemblaggio; a seguire l'injector testing flow chart svolto attraverso la *Testline*, cioè il modulo che di fatto genera le varie tipologie di scarto che più ci interessano in questo contesto.



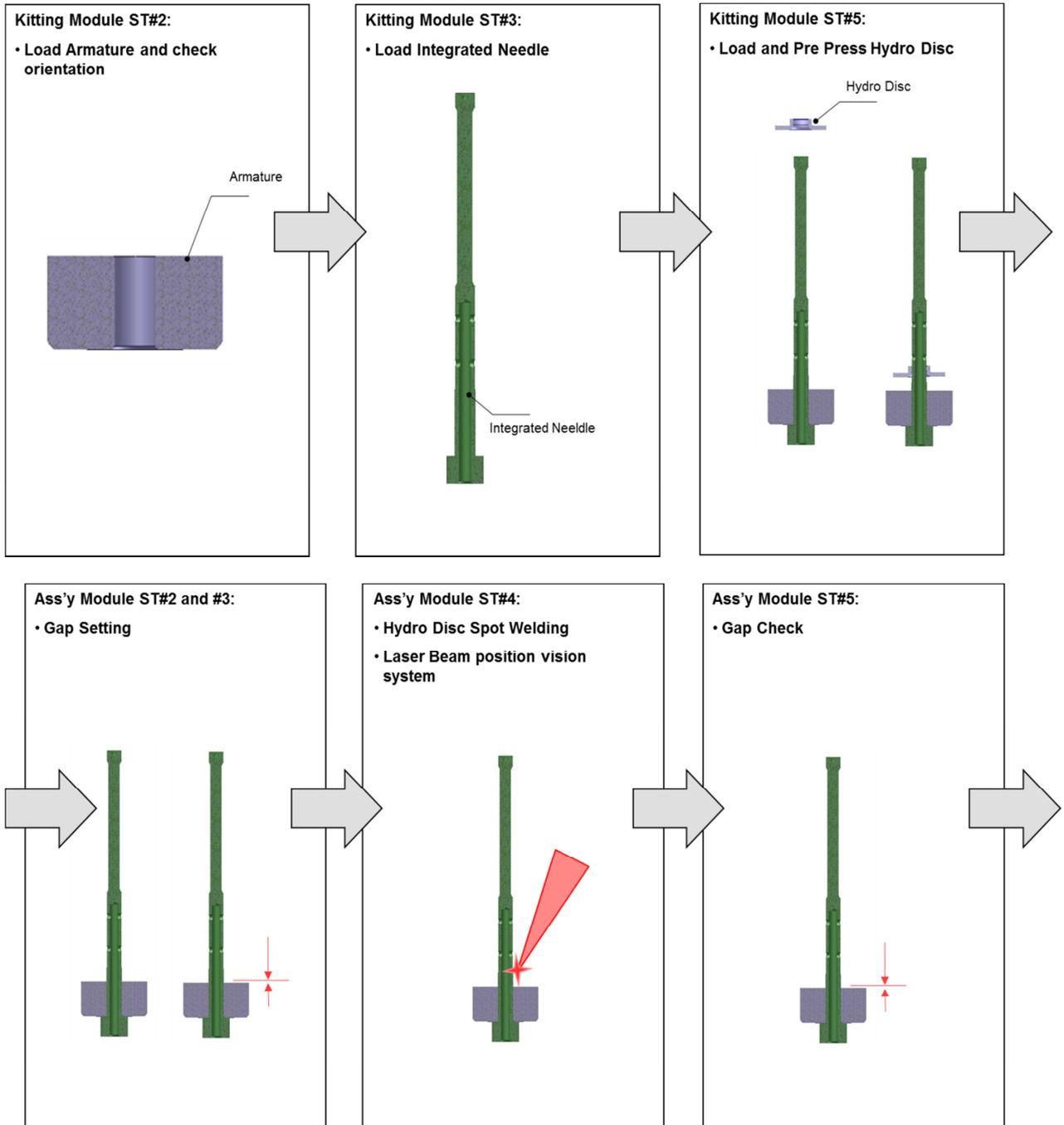


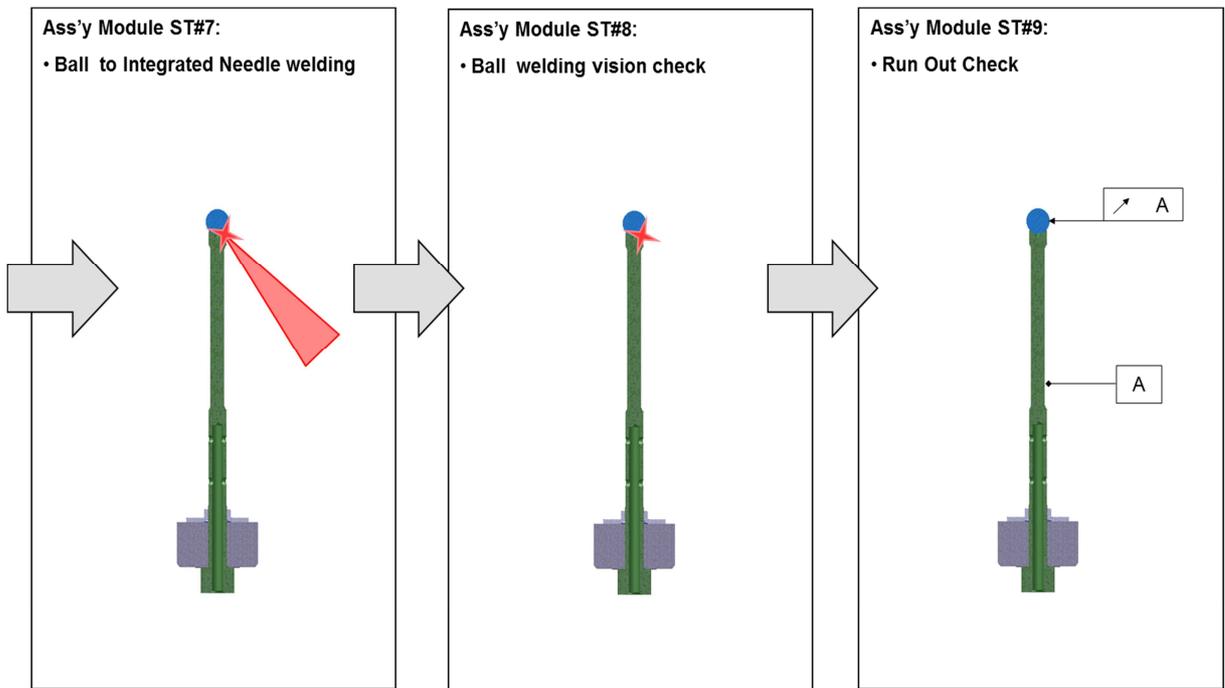
Nei capitoli seguenti sarà illustrata l'importanza fondamentale di alcuni scarti della Testline in relazione al progetto di analisi e aggressione della contaminazione.

Segue ora l'injector dressing flow chart, che come dice il nome stesso del processo si concretizza nella "vestizione" esterna dell'iniettore, si tratta dell'ultimo processo svolto sull'iniettore prima del suo montaggio sul Fuel Rail e di fatto è svolto ad iniettore chiuso, per cui non è legato al problema contaminazione.



Un'importanza elevata per il lavoro di tesi è rivestita invece dal modulo di assemblaggio ATB, componente che come visto in precedenza sarà inserito nell'iniettore prima del modulo M60 di inserimento filtro, vediamo quindi l'ATB assembly process flow chart anch'esso presente in Clean Room.





Con questo capitolo si è voluta dare una visione d'insieme dei componenti e dei processi che compongono il modello XL3 nella linea automatica di Fauglia; è infatti importante sottolineare come la conoscenza dei processi di assemblaggio e dei componenti che compongono il prodotto siano fondamentali per un'efficace aggressione del problema "contaminazione".

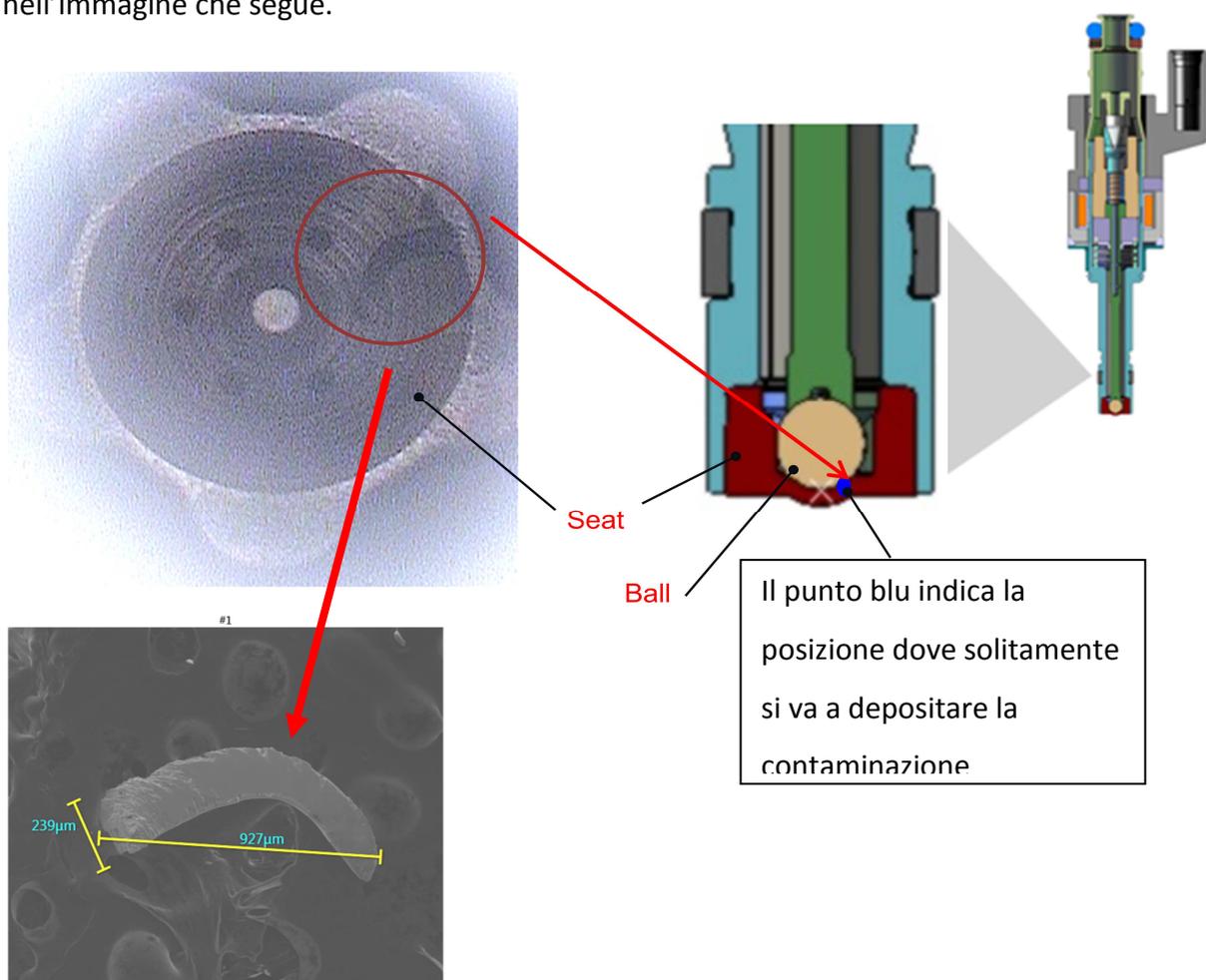
## Capitolo 3- La contaminazione negli iniettori

### 3.1-Aspetti generali

Questo capitolo tratta della contaminazione negli iniettori e dei suoi aspetti generali.

In generale la contaminazione è la maggiore fonte di usura e di guasti nei sistemi meccanici o idraulici. Una particella contaminante può essere vista come un elemento abrasivo che degrada le superfici dei componenti del sistema all'interno del quale si viene a trovare; particelle più o meno grandi possono inoltre alterare le tolleranze dei componenti, causare grippaggi ed intasamenti di piccoli fori calibrati.

Molti attuatori idraulici tra i quali gli iniettori hanno dei giochi tra le parti in movimento; le particelle contaminanti possono alterare i giochi delle parti in movimento nell'attuatore, compromettendone il funzionamento. Possiamo vederne un esempio nell'immagine che segue.



**Figura 3.1-Tipica contaminazione dannosa per l'iniettore**

In campo automobilistico la presenza di particelle contaminanti, **interne** introdotte dal materiale dell'iniettore stesso o dalle particelle presenti in esso già a zero ore, oppure **esterne** (verosimilmente introdotte dal carburante), portano ad una serie di problemi che hanno come conseguenza il malfunzionamento dei dispositivi più delicati, fino a compromettere inevitabilmente le prestazioni del sistema.

### 3.2-Classificazione della contaminazione

**La contaminazione in base al suo stato può essere:**

1. solida,
2. liquida,
3. gassosa.

1) *La contaminazione solida viene suddivisa ancora secondo la durezza del materiale e la dimensione (questa classe di contaminazione sarà l'oggetto del presente lavoro di tesi).*

► In tabella 3.1 sono riportati alcuni esempi di materiali che tipicamente possono interessare un sistema di iniezione suddivisi per durezza:

<b>Durezza</b>	<b>Materiale</b>
<b>Materiali molto duri</b>	Ossido Scoria Corindone
<b>Materiali Duri</b>	Acciaio Ferro Ottone Bronzo Alluminio
<b>Materiali Teneri</b>	Tessuti duri Fibre Frammenti di guarnizione Frammenti di gomma Vernice

**Tabella 3.1-Esempi di contaminazione solida suddivisa per durezza**

► Per quanto riguarda la dimensione, in questo contesto, le particelle solide vengono classificate in:

- piccole o molto piccole (  $2 \div 35 \mu\text{m}$  ),
- grandi (  $> 35 \mu\text{m}$  ).

Questa suddivisione è stata fatta in fase progettuale durante lo studio da parte degli ingegneri del sistema di filtrazione che prevede infatti una risoluzione del filtro pari a  $35 \mu\text{m}$ , tale argomento sarà approfondito nel proseguo di questo paragrafo.

2) *La contaminazione liquida può essere data da olio in circolo o acqua disciolta, emulsionata o libera (non sarà trattata all'interno di questo studio).*

In generale l'olio può derivare da trafilamenti, ad esempio per perdite dalle sedi di cuscinetti a tenuta stagna o nel caso degli iniettori può derivare direttamente dalle lavorazioni dei componenti.

L'acqua generalmente deriva dalla condensa di vapore acqueo nei contenitori usati per immagazzinaggio e nei serbatoi dei sistemi idraulici, in caso di forti escursioni termiche (esempio: giorno/notte).

In sistemi funzionanti con olio minerale, la presenza di acqua aumenta notevolmente il fenomeno della corrosione delle superfici metalliche, perché vengono alterate le proprietà protettive dell'olio.

Anche impiegando oli detergenti è possibile riscontrare una corrosione importante sulle superfici in acciaio già con un tenore di acqua dell'1 %.

I materiali delle tenute possono perdere la loro funzionalità a causa dei rigonfiamenti e dei processi di idrolisi; le caratteristiche delle gomme diminuiscono drasticamente ed inoltre il loro peso varia a causa della diversa permeabilità al fluido.

Questo tipo di risultati diventa addirittura disastroso con i materiali poliuretanic.

3) *La contaminazione gassosa è data soprattutto dall'ingresso di aria nei sistemi idraulici per: carenze costruttive, infiltrazione attraverso guarnizioni difettose, trafilamento dalla linea di aspirazione delle pompe (questo tipo di contaminazione non sarà trattata all'interno di questo studio).*

Il problema principale che essa può rappresentare è la maggiore possibilità di andare incontro a cavitazione, in condizioni di bassa pressione.

**Con riferimento ai vari momenti di vita del sistema, la contaminazione può essere classificata nel modo seguente:**

- ◆ Contaminazione a zero ore ( *Incoming contamination* );
- ◆ Livello massimo accettabile di contaminazione ( *Maximum acceptable contamination* );
- ◆ Contaminazione generata ( *Generated contamination* ).

#### **Contaminazione a “zero ore”**

L'*incoming contamination* rappresenta la contaminazione del sistema prima che esso cominci a funzionare ed è l'aspetto su cui ha il focus questo studio.

Negli stabilimenti Continental di San Piero a Grado e di Fauglia è estratta attraverso un lavaggio tramite etanolo per quanto riguarda le particelle presenti sui componenti non assemblati, mentre si ha un flussaggio degli iniettori per quanto riguarda le particelle presenti nel prodotto finito (particelle che riescono a fuoriuscire dai fori benzina).

In pratica il componente è sottoposto ad un'azione di lavaggio per mezzo di un solvente che ha elevate proprietà di rimozione delle particelle contaminanti; il flussaggio dell'iniettore è invece eseguito secondo diverse modalità, determinate dalle caratteristiche geometriche e costruttive del pezzo.

Il prodotto finito (iniettore) non è posto in funzione durante il flussaggio, allo scopo di raccogliere e valutare la contaminazione che può derivare dai processi di produzione, assemblaggio, trasporto ed immagazzinamento.

### **Livello massimo accettabile di contaminazione**

Il livello massimo accettabile di contaminazione rappresenta il livello di contaminanti che non deve essere superato all'interno del sistema e che permette al sistema stesso di continuare a funzionare correttamente, tale ambito esula dal presente lavoro di tesi ed è citato solo per completezza.

Gli aspetti principali di questo ambito sono:

- determinazione della sensibilità alla contaminazione dei componenti per mezzo dell'esperienza passata e attraverso test qualificati;
- individuazione del componente che mostrerà una sensibilità più marcata che determinerà il livello di contaminazione da garantire per raggiungere la richiesta affidabilità del sistema;
- studio del sistema di filtrazione.

#### *Analisi della sensibilità alla contaminazione.*

L'analisi della sensibilità alla contaminazione è un passo molto importante per il raggiungimento del controllo della contaminazione e deve essere sviluppata in più fasi:

- in fase di progetto;
- in fase di prototipazione;
- in condizioni operative;

- Nella prima fase l'approccio sarà costituito da un'analisi preventiva di progetto, nella quale si valuteranno i componenti che dovranno essere protetti da un adeguato sistema di filtrazione, in quanto più sensibili. Dove possibile, il progettista dovrebbe utilizzare dei modelli matematici per simulare il comportamento dei componenti e le prestazioni del sistema di filtrazione.

- Nella seconda fase la sensibilità alla contaminazione dei prototipi può essere valutata attraverso test standardizzati che utilizzano un contaminante ben specifico (il più utilizzato finora è stato l'ACFTD, *Air Cleaner Fine Test Dust*, una polvere del deserto dell'Arizona avente la caratteristica di avere costanti la miscelazione ponderale e percentuale dei componenti), oppure attraverso test che variano sia il tipo di contaminante, sia i livelli di concentrazione e il range di distribuzione della taglia delle particelle. Per una questione di costi si effettuano dei test di vita accelerati, durante i quali si esamina un numero rappresentativo di pezzi.
- Nella terza fase si effettua un'analisi diagnostica delle cause che hanno portato alla degradazione delle prestazioni del sistema per la presenza di contaminanti. Si ricercano i guasti dominanti per riprodurre in laboratorio, sotto condizioni controllate, la situazione reale allo scopo di risolvere definitivamente il problema.

#### *Determinazione del livello di contaminazione.*

Le informazioni raccolte permettono di quantificare quello che può anche essere definito il livello di tolleranza del sistema alla contaminazione.

È determinato dal componente che si è rivelato più sensibile, in quanto sarà quello che risentirà prima di tutti della presenza eccessiva di contaminazione, e dalle dimensioni critiche dei pezzi che più facilmente potrebbero essere mandate fuori tolleranza dalle particelle contaminanti.

Questi dati, relativi al livello e alle dimensioni delle particelle che hanno messo in crisi il componente forniti dall'analisi di sensibilità, sono la base per la valutazione del sistema di filtrazione più adatto che occorrerà adottare a protezione del sistema idraulico.

#### *Studio del sistema di filtrazione*

La buona funzionalità di un sistema idraulico è sempre legata all'efficienza del sistema di filtrazione. Esso è preposto alla protezione dei vari componenti dalla presenza di particelle contaminanti che, se non eliminate dal circuito idraulico, possono provocare seri danni.

Le particelle solide a spigoli vivi sono le principali responsabili di erosione ed abrasione dei componenti, le particelle morbide o gelatinose possono intasare i meati, la contaminazione liquida causa un più rapido invecchiamento del fluido, la contaminazione gassosa può provocare effetti cavitativi e quindi ulteriore erosione.

I lavori fatti nel campo della filtrazione hanno dimostrato che si può aumentare la vita del sistema e la sicurezza complessiva di esercizio rimuovendo il maggior numero delle particelle solide.

L'inquinamento dei fluidi idraulici è un fatto tecnico ineludibile che però può essere minimizzato ricorrendo ad un efficace sistema filtrante; una buona filtrazione già all'atto del riempimento dell'impianto, un montaggio pulito e un flussaggio profondo sono indispensabili per creare condizioni iniziali favorevoli per tutti i componenti.

La dimensione delle particelle che il filtro deve essere in grado di trattenere è solo uno dei parametri da tenere in considerazione nella scelta di un filtro; affinché esso svolga nel migliore dei modi la sua funzione, si ha la necessità di individuare e valutare una serie di parametri, a seconda delle necessità e del campo di utilizzazione.

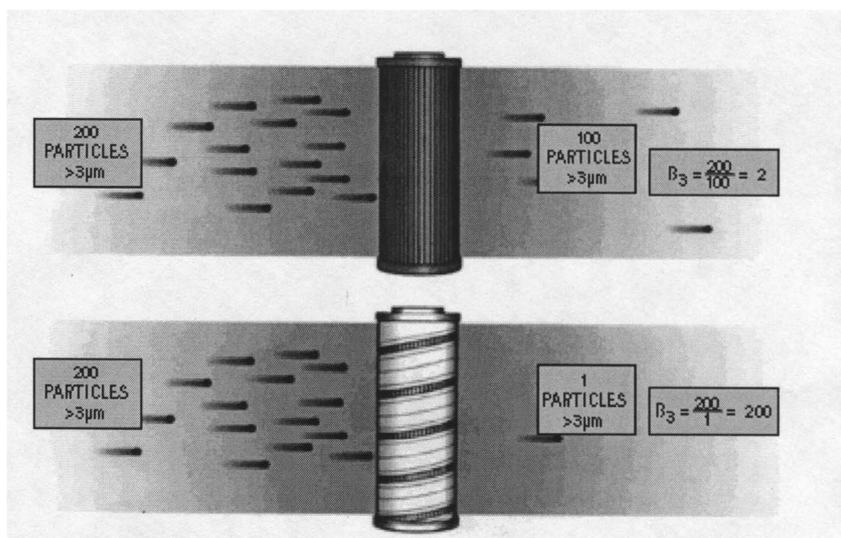
*Per quanto riguarda l'elettroiniettore XL3 è stato utilizzato un filtro che riesce a bloccare le particelle fino a 35 micron, questo studio è finalizzato all'analisi e alla riduzione delle particelle maggiori di questa grandezza all'interno dell'iniettore. Data la presenza del filtro tali particelle devono essere necessariamente già presenti all'interno dell'iniettore a causa di componenti contaminati inseriti prima del filtro o operazioni di assemblaggio svolte prima dell'inserimento del filtro stesso.*

Per determinare la capacità di un filtro nel trattenere la contaminazione viene anche individuato un parametro che prende il nome di "Rapporto Beta".

Il "Rapporto Beta" è definito come il rapporto tra il numero di particelle più grandi di una determinata dimensione, misurato prima del filtro, e il numero di particelle della stessa dimensione che sono riuscite ad attraversare l'elemento filtrante stesso.

Come si può facilmente vedere dalla figura 3.2,  $\beta_3 = 2$  vuol dire che metà delle particelle maggiori di 3  $\mu\text{m}$  sono state catturate, se  $\beta_3 = 1$  il filtro non può rimuovere nessuna particella più grande di 3  $\mu\text{m}$ , quindi l'operazione di filtrazione sarà tanto più efficiente

quanto più grande è il "Rapporto Beta" per la taglia del contaminante che si sta valutando.



**Figura 3.2: Determinazione del Rapporto Beta**

### **Contaminazione generata**

È inevitabile che i componenti di una macchina generino della contaminazione durante il funzionamento, a causa principalmente dell'usura delle parti in movimento; tale ambito esula dal presente lavoro di tesi ed è citato solo per completezza.

La contaminazione deve essere contenuta, altrimenti in caso contrario, il sistema andrà incontro a danneggiamento. Pertanto il problema della generazione di contaminazione è particolarmente sentito nell' elettroiniettore, perché esso è caratterizzata dall'avere diverse parti in movimento a diretto contatto con la benzina.

E' dunque inevitabile che l'usura di questi componenti causi la formazione di particelle contaminanti che entrano in circolo nel sistema.

La Continental è particolarmente interessata a questa problematica ed ha allestito un banco prova situato presso lo stabilimento di Fauglia per valutare la contaminazione autogenerata con la finalità di avere un livello di contaminazione della benzina il più basso possibile.

### 3.3-Le possibili sorgenti della contaminazione solida “a zero ore” iniettore XL3

Come detto in precedenza questo studio ha il focus sulle particelle solide del sistema iniettore “a zero ore”, tale tipologia di contaminazione deriva principalmente da:

- linea di assemblaggio;
- componenti;
- banchi di lavoro Clean Room.

Per quanto riguarda la linea di assemblaggio lo studio si concentrerà sui moduli precedenti al modulo di inserimento filtro compreso, cioè l’M60, moduli evidenziati nell’immagine sottostante. Per lo studio e l’analisi della contaminazione introdotta da questi moduli sarà fondamentale un’osservazione ed una raccolta della contaminazione direttamente sulla linea ma anche un’analisi della contaminazione presente all’interno di particolari tipologie di scarti della Testline e attraverso altre metodologie di analisi che saranno approfondite congiuntamente nel capitolo 4.



**Figura 3.3-Moduli “critici” precedenti all’inserimento del filtro**

Anche per quanto riguarda i componenti ed i banchi di lavoro lo studio si concentrerà su quei componenti introdotti in linea prima dell’inserimento del filtro e quei banchi utilizzati per tali componenti, vedremo dunque in base al materiale contaminante e alla

sua morfologia quali sono i componenti critici o meno e le varie problematiche in relazione a ciò.

### **3.4-Le attuali metodologie di misurazione della contaminazione linea XL3**

Attualmente per quanto riguarda l'analisi della contaminazione "a zero ore" degli iniettori vengono svolti processi di flussaggio tramite macchina Sonplas, tali analisi così svolte non comprendono però uno studio della morfologia e del materiale degli agenti contaminanti ed una loro conseguente aggressione mirata, con questo progetto si vuole invece andare a ridurre la contaminazione relativa al nuovo prodotto XL3 aggredendola in modo puntuale e specifico; nel capitolo 4 sarà descritta la strategia adottata che come vedremo non potrà esulare dal conoscere morfologia e materiale dell'agente contaminante.

Il livello di contaminazione viene valutato in relazione alle classe 13 per le particelle >5micro ed in relazione alla classe 11 per le particelle >15 micro, tali classi sono relative alla codifica della norma ISO 4406 descritta nel paragrafo 3.4.1 e questi limiti sono stati fissati attraverso precedenti studi; vengono analizzati sistematicamente 4 iniettori al giorno, segue un esempio delle analisi svolte.

# ESITO ANALISI DI CLEANLINESS

MICROSCOPIO OTTICO

Strumento: AUTOMATIZZATO Nikon80i

Cod. analisi 123 Pisa li 25/10/2013

Campione Iniettore finito

Descrizione Campione Inj XL3 Taratura

n°pz / ml 4000

Lotto/Data prelievo 23,10,13

CW 43

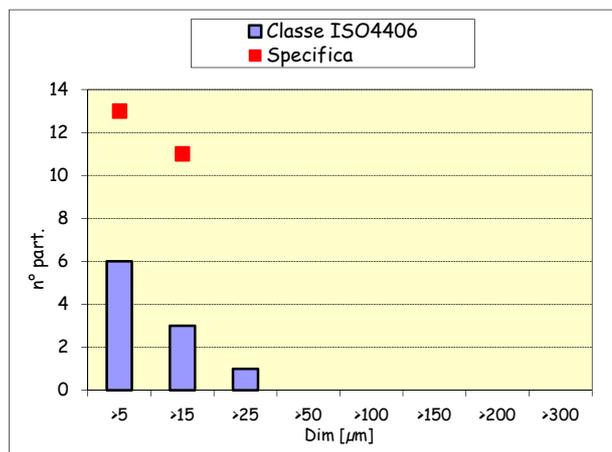
CL richiesto 

13	11
----	----

ISO 4406 code (5-15µm)

## DATI

Totale particelle conteggiate			
Dimensione [µm]	n° particelle sul campione	Conteggio	Specifica
		Classe ISO4406	ISO 4406 code (5-15µm)
>5	1862	6	13
>15	211	3	11
>25	50	1	
>50	8		
>100	2		
>150	2		
>200	2		
>300	2		



## RISULTATO

ESITO Ok

	5µm	15µm
Classe ISO4406 ***	6	3

\*\*\* codice ISO4406 che identifica ad esempio con la prima cifra il numero di particelle > di 5 o 25µm e con la seconda quelle > di 15 o 50µm

Relativamente ai componenti XL3, nel laboratorio di San Piero essi sono stati validati dopo lavaggio tramite metodo Sure Shot descritto nell'istruzione I730103b (linee guida per eseguire la misura di cleanliness su componenti/sottogruppi e fluidi) ed il livello di contaminazione valutato in relazione alla classe B0 specifica S0197, le classi utilizzate sono mostrate nel paragrafo 3.4.2, segue un esempio delle analisi svolte.

# ESITO ANALISI DI CLEANLINESS

MICROSCOPIO OTTICO AUTOMATIZZATO

Strumento: Nikon80i

Cod. Rich.4789 Pisa 25/10/2013  
analisi \_\_\_\_\_ li \_\_\_\_\_

Campione Sedi WA [cm<sup>2</sup>] 1,69

Descrizione Campione Sedi XL3

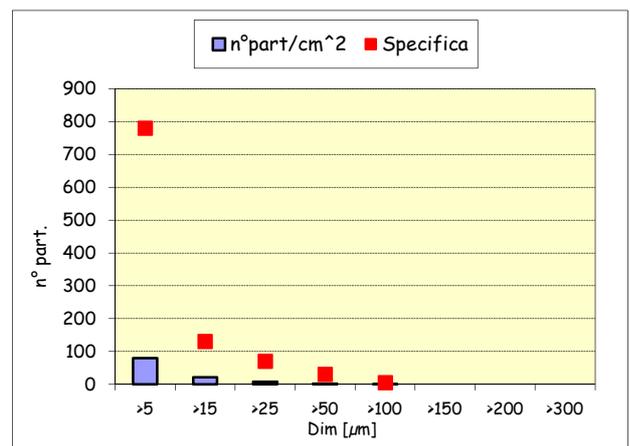
n°pz / ml 5

Lotto/Data prelievo 17,10,13 CW 42

CL richiesto S0197-B0

## DATI

Totale particelle conteggiate			
Dimensione [µm]	n° particelle sul campione	Conteggio	Specifica
		n°part/cm <sup>2</sup>	S0197-B0
>5	675	80	780
>15	174	21	130
>25	63	7	70
>50	15	2	30
>100	2	0	5
>150	0	0	
>200	0	0	
>300	0	0	
Max dimensione ammessa			
Dimensione [µm]	n° particelle sul campione	Conteggio	Specifica
		/pz	S0197-B0
150	0	0	
PART. MET.*	0,0	0,0	0,0
ALTRO*	0,0	0,0	15,0



## RISULTATO

Esito preliminare\* Ok

ESITO definitivo\*\* Ok

\*prima del controllo al 100% delle 20 particelle più grandi, da fare se la spec. applicata ha un limite sulla max dimensione ammessa

\*\*dopo il controllo al 100% delle 20 particelle più grandi, da fare se la spec. applicata ha un limite sulla max dimensione (vedi. Componenti)

### 3.4.1-La norma ISO 4406

La ISO (Organizzazione Internazionale di Normazione) è un'associazione mondiale di organismi nazionali di normazione.

Ognuno di essi è rappresentato in un Comitato Tecnico, che ha la funzione di elaborare le norme; se queste ricevono l'approvazione da almeno il 75 % degli organismi votanti, secondo le procedure ISO, allora vengono adottate come norme internazionali.

La ISO 4406 fornisce gli strumenti per classificare la contaminazione sulla base del numero e delle dimensioni delle particelle, tramite un codice numerico che si compone di due numeri di scala:

- il primo numero di scala rappresenta il numero di particelle di dimensioni maggiori di 5  $\mu\text{m}$  per millilitro di fluido;
- il secondo numero di scala rappresenta il numero di particelle maggiori di 15  $\mu\text{m}$  per millilitro di fluido.

In figura 4.1 è riportato un esempio, per meglio comprendere il meccanismo di identificazione del livello di contaminazione di un fluido campionato da un sistema idraulico.

Supponiamo che l'analisi di un millilitro di campione di fluido abbia fornito i risultati riportati nella tabella di sinistra; in particolare considereremo i seguenti:

- 517 particelle > 5  $\mu\text{m}$  / ml
- 55 particelle > 15  $\mu\text{m}$  / ml

Il primo numero di scala si assegna alle particelle maggiori di 5 micron, pertanto si dovrà scegliere la classe 16 che identifica la popolazione di contaminante compresa tra 320 e 640 particelle per millilitro di fluido.

Allo stesso modo per le particelle maggiori di 15 micron si sceglie la classe 13, che identifica la popolazione di contaminante compresa tra 40 e 80 particelle per millilitro di fluido.

Il codice che rappresenta il fluido in esame è quindi ISO 16/13.

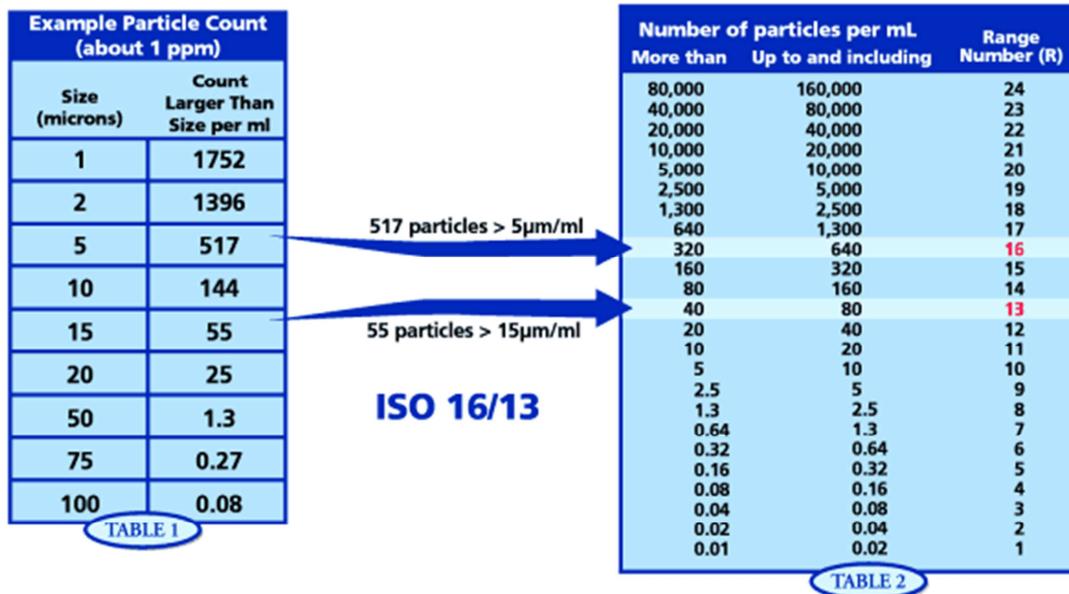


Figura 3.4- Esempio di classificazione del contaminante secondo la ISO 4406

Le due grandezze campione sono state scelte perché la più piccola dà un'accurata valutazione delle condizioni del fluido in esame, mentre la popolazione delle particelle più grandi di 15 micron rispecchia l'importanza dei fenomeni di usura di in atto.

### 3.4.2-La specifica S0197

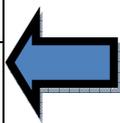
Questa specifica tecnica, realizzata internamente al sistema azienda, definisce il livello di pulizia per i componenti/sottoassiemi degli elettroiniettori.

Sono state definite diverse classi di cleanliness, la classe relativa ai componenti dell'elettroiniettore XL3 è la classe "B0".

Cleanliness Level "A00"		
Particles size range [ $\mu\text{m}$ ]	Max n° Particles /100mm <sup>2</sup>	Max Dim. on 1 comp.[ $\mu\text{m}$ ]
>5	320	50
>15	28	
>25	1	
>50	0	
>100	0	

Cleanliness Level "A0"		
Particles size range [ $\mu\text{m}$ ]	Max n° Particles /100mm <sup>2</sup>	Max Dim. on 1 comp.[ $\mu\text{m}$ ]
>5	500	100
>15	55	
>25	20	
>50	10	
>100	0	

Cleanliness Level "B0"		
Particles size range [ $\mu\text{m}$ ]	Max n° Particles /100mm <sup>2</sup>	Max Dim. on 1 comp.[ $\mu\text{m}$ ]
>5	1560	150
>15	260	
>25	70	
>50	30	
>100	5	



Una revisione di questa specifica classe B0 ha portato i limiti per le particelle >5 micron e >15 micron rispettivamente a 780 ed a 130 particelle per centimetro quadrato.

Cleanliness Level "C0"		
Particles size range [ $\mu\text{m}$ ]	Max n° Particles /100mm <sup>2</sup>	Max Dim. on 1 comp.[ $\mu\text{m}$ ]
>5	3300	200
>15	550	
>25	230	
>50	60	
>100	10	

**Tabella 3.2-Classi specifica S0197**

Il metodo di estrazione ed analisi in relazione a questa specifica è definito nell'istruzione Continental I730103b, si tratta del metodo Sure Shot ovvero il componente viene "lavato" con un getto di liquido di flussaggio in pressione (etanolo in questo caso), il fluido viene quindi raccolto in un apposita vaschetta ed in seguito viene versato nell'imbuto per filtrazione dove viene fatto fluire attraverso una membrana (filtro).

Terminata l'operazione di estrazione il filtro viene fatto analizzare tramite microscopio automatico che in output fornisce il conteggio delle particelle rinvenute sui componenti analizzati suddivise per range dimensionali fissati. Conoscendo l'area bagnabile ed il numero di componenti analizzati è possibile quindi ricondurci al n° di particelle presenti su 100 mm<sup>2</sup> della superficie dei componenti.

## Capitolo 4- Il progetto “Total Clean Injector”

### 4.1-Focus e obiettivi del progetto

Questo capitolo introduce le linee guida e le strategie adottate all’interno del progetto “Total Clean Injector”.

La linea di produzione XL3, è una linea automatica per l’assemblaggio degli elettroiniettori della famiglia XL3 da cui prende il nome; essa ha iniziato a lavorare, su ritmi di un turno giornaliero, il 27 Maggio 2013. Il 28 Agosto 2013 ha avuto inizio il progetto sui cui si basa questo lavoro di tesi e che si prefigge i seguenti obiettivi principali:

- Valutare la contaminazione presente all’interno del prodotto finito ed individuarne le cause;
- Mappare la contaminazione presente sulla linea di assemblaggio;
- Definire azioni atte a ridurre tale contaminazione.

Sulla Quality Board della Clean Room XL3 è stato dedicato un apposito spazio a tre slides di sintesi del progetto che vengono aggiornate settimanalmente e che tutti possono vedere (operatori, dirigenti, ospiti e clienti in visita).

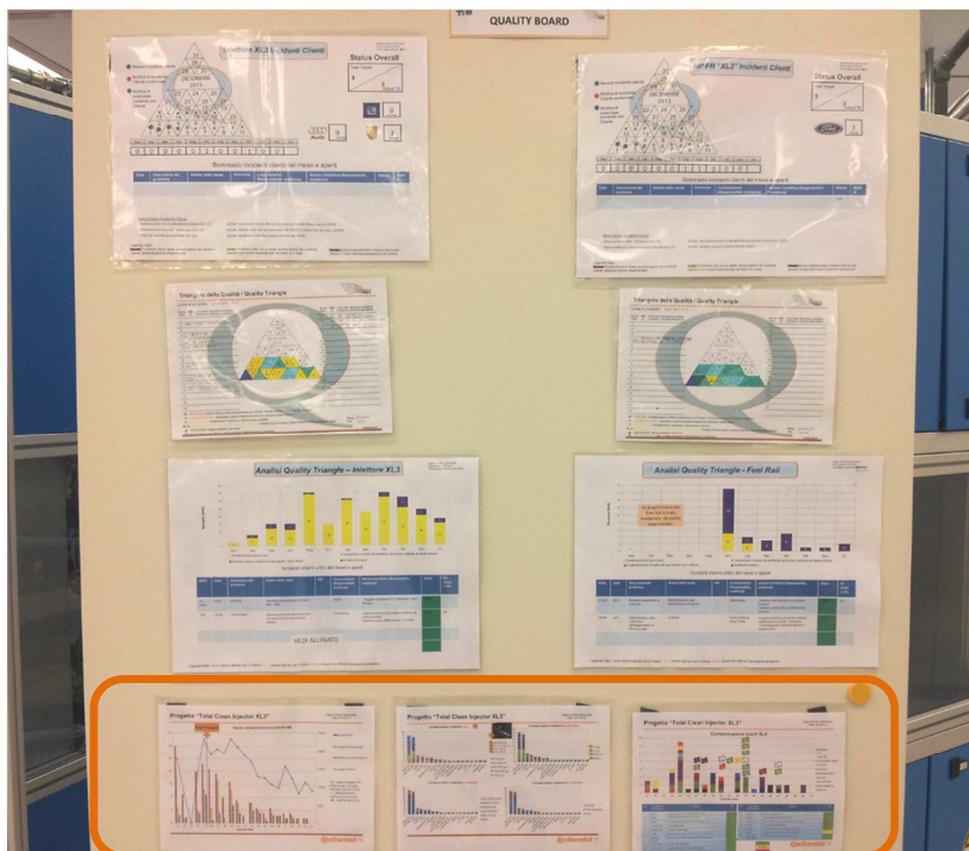
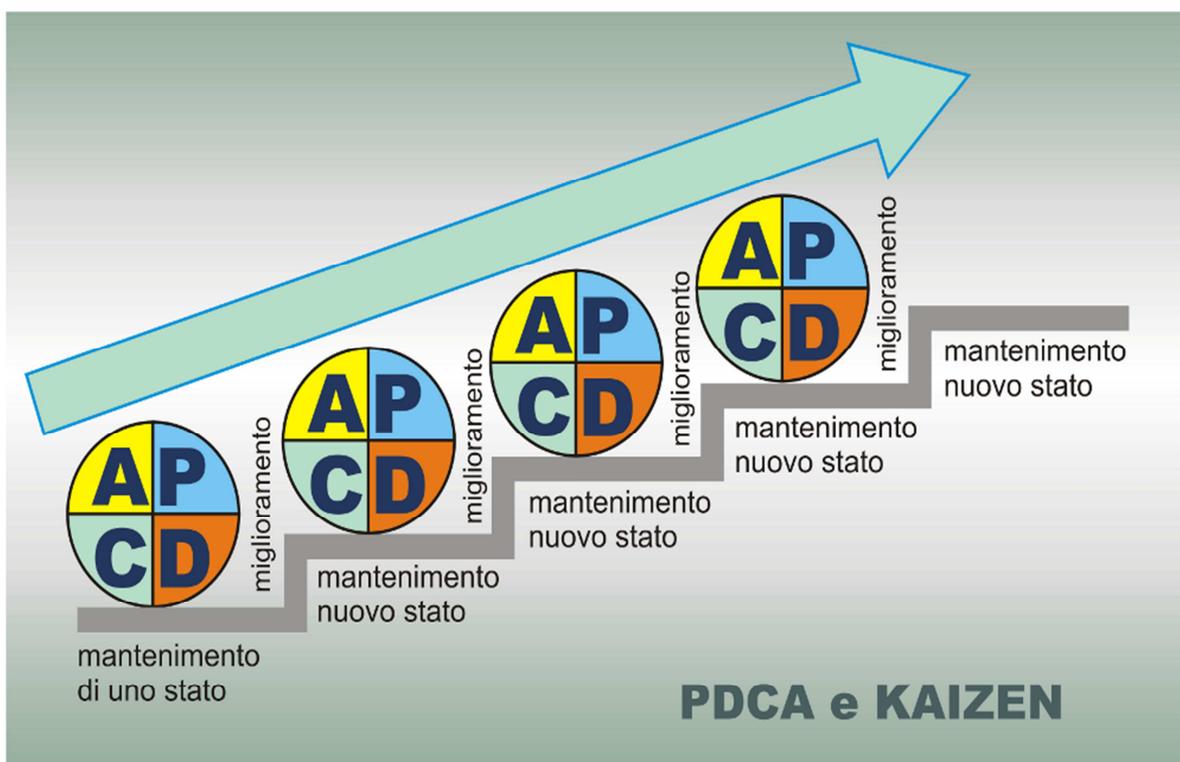


Figura 4.1-Quality Board Clean Room XL3

La contaminazione che caratterizza la produzione di elettroiniettori è un fenomeno in continua evoluzione, essa può dipendere da molti fattori, da un modulo che ha perso l'adeguato settaggio ed esegue operazioni in maniera non ottimale, da una partita di componenti lavorati in maniera errata o che hanno subito qualche genere di danneggiamento nelle fasi precedenti all'inserimento in linea, da banchi di lavoro non adeguatamente puliti, o da una moltitudine di altri fattori.

In un contesto del genere è necessario un approccio flessibile che si adegui alle problematiche di contaminazione di settimana in settimana, per non dire di giorno in giorno, l'approccio PDCA (anche chiamato ciclo di Deming, Plan-Do-Check-Act) è uno strumento che si presta perfettamente a questo tipo di lavoro.

Congiuntamente è necessario applicare un approccio di miglioramento continuo tipico del Kaizen, cioè un mantenimento dello stato raggiunto, accompagnato da una continua spinta di miglioramento progressivo, a piccoli passi.



**Figura 4.2-Approccio congiunto PDCA e KAIZEN**

E' infatti necessario pianificare metodologie di misura della contaminazione efficaci, mettere in pratica tali analisi e agire per andare a ridurre gli agenti contaminanti in questione, dopodiché il ciclo riparte analizza-agisci-verifica i risultati per cercare di ottenere una riduzione della contaminazione presente all'interno degli iniettori prodotti.

## 4.2-Strategia di analisi

Dopo aver preso visione della situazione AS-IS, ovvero di ciò che prima dell'inizio del progetto veniva fatto in termini di contaminazione, si è deciso di attuare un'azione di benchmarking interno con le linee di produzione più "rodate", indagando cosa veniva fatto e soprattutto cosa era stato fatto in passato per individuare, analizzare e ridurre la contaminazione.

Le linee con cui ci siamo confrontati sono la linea di produzione bassa pressione Dekka VII di Fauglia e la linea di produzione alta pressione XL2 di San Piero a Grado. Il contributo in termini di informazioni ricevuto da coloro che hanno lavorato in ambito contaminazione su queste 2 linee è stato fondamentale per una rapida ed efficace impostazione del progetto, soprattutto per quanto riguarda le informazioni ricevute dalla linea XL2, che di fatto è un iniettore molto simile all'XL3.

E' da sottolineare però che l'approccio utilizzato nei progetti sulla contaminazione XL2 si basava soprattutto sull'analisi dei ritorni dal cliente poiché si trattava di progetti nati dopo diversi mesi/anni dalla partenza della linea e che potevano basarsi su un riscontro diretto e massiccio dal campo; questo progetto invece essendo partito solo 3 mesi dopo il lancio della linea automatica XL3 ha la possibilità di usufruire in quest'ottica di pochissimi dati. Si è cercato quindi di concentrare maggiormente l'attenzione sulle informazioni ottenibili internamente sfruttando comunque anche i ritorni da cliente avuti (che rimangono comunque una metrica primaria all'interno del progetto) e cercando di limitarne ulteriori; questo approccio è legato all'intento di limitare fin da subito la possibilità di far arrivare prodotti contaminati al cliente.

In accordo con il laboratorio analisi di San Piero a Grado e con il Controllo Produzione è stata quindi pianificata una strategia iniziale di analisi della contaminazione, rivista ed allineata durante il progetto secondo l'approccio sopra descritto; tale approccio comprende i seguenti ambiti:

- **LINEA DI ASSEMBLAGGIO E MODULO ATB**

➤ Utilizzo di adhesive strip per la raccolta e la mappatura della contaminazione nei moduli precedenti all'inserimento del filtro (modulo M60 assembly line); gli adhesive strip sono quindi analizzati al microscopio a scansione elettronica(SEM) per individuare

dimensione, morfologia e materiale dei contaminanti metallici o al microscopio ad infrarossi(FT-IR) in caso vi sia presenza di contaminati organici.

- **INIETTORI**

➤ Analisi contaminazione scarti interni (previa individuazione degli scarti interni maggiormente rappresentativi della presenza di contaminazione: leak, calibrazione, low flow), anche qui l'analisi prevede l'individuazione di morfologia, dimensione e materiale del contaminante tramite SEM e/o FT-IR.

➤ Analisi contaminazione flussaggio iniettori dopo assemblaggio, prima del passaggio in test-line; l'analisi non si concentra sulla conta particellare tipica di questa metodologia, ma sono analizzate al SEM e/o FT-IR le 5 particelle contaminanti metalliche più grandi per ogni filtro di flussaggio.

➤ Analisi contaminazione iniettori flussati dopo passaggio in test-line, secondo la stessa metodologia del punto precedente.

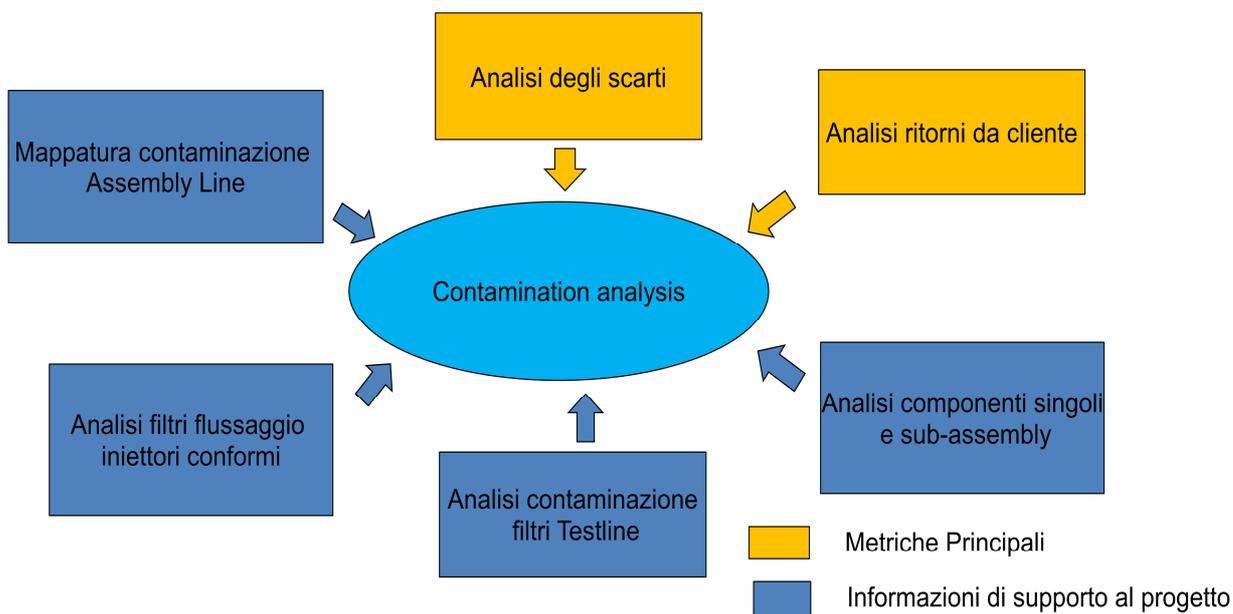
➤ Analisi filtri test line; si vanno ad individuare ed analizzare le particelle che si sono accumulate nel filtro del modulo di test e quindi quelle che sono fuoriuscite dall'iniettore durante i test, anche qui si tratta di analisi al SEM e/o FT-IR.

➤ Analisi contaminazione ritorni; l'analisi prevede l'individuazione di morfologia, dimensione e materiale del contaminante come in precedenza.

- **COMPONENTI E SOTTOGRUPPI**

➤ Audit visivi per verifica di bave, trucioli e/o danneggiamenti; eventuali agenti contaminanti sono analizzati al SEM e/o FT-IR per individuarne dimensione, morfologia e materiale.

In sintesi Benchmarking interno e Lessons Learned dalle altre linee ad alta e bassa pressione hanno permesso l'individuazione dei metodi di analisi che sono stati riadattati ed integrati per creare il nuovo modello di analisi contaminazione mostrato in Fig.4.3.



**Figura 4.3-Schema delle analisi messe in atto nel lavoro di tesi**

Come metriche principali sono state usate le NON conformità di prodotto finito riscontrate, ovvero gli scarti interni (previa individuazione degli scarti più rappresentativi della presenza di contaminante), ed i ritorni da cliente, dato che entrambe ci indicano la contaminazione che effettivamente è stata dannosa per il prodotto.

Per raccogliere informazioni che permettessero di capire la causa di tali problematiche le analisi, secondo metodologie diverse, sono state allargate anche agli altri ambiti rappresentati in Fig. 4.3.

Apriamo ora una piccola parentesi riguardo i due strumenti sopra citati ovvero il microscopio a scansione elettronica (SEM) e il microscopio ad infrarossi (FT-IR), strumenti fondamentali per un'analisi approfondita delle diverse tipologie di contaminanti.

La **microscopia a scansione elettronica** è una tecnica per ottenere immagini ad alta risoluzione di superfici. Tale tecnica utilizza gli elettroni emessi dalla superficie del campione in esame (precedentemente sistemato su un apposito STUB) per formare una sua immagine, mentre nell'esame con la microscopia ottica tradizionale viene sfruttata la luce visibile.

Nel SEM, una piccola porzione della superficie del campione viene bombardata continuamente da elettroni e questo genera dei segnali elettronici che possono essere di varia natura.

Tale fenomeno è dovuto al fatto che:

- Gli elettroni possono essere assorbiti dal campione e possono dare così origine a elettroni secondari di energia molto bassa;
- Gli elettroni inviati al campione possono essere riflessi elasticamente, senza perdita di energia;
- Gli elettroni possono essere assorbiti e dare origine a luce visibile (catodoluminescenza).

Tutti gli effetti sopra accennati, possono essere sfruttati per la produzione di immagini. Il SEM consente la visualizzazione di superfici del diametro di 10 nm e pertanto, come vedremo, non solo fornisce immagini molto dettagliate dei difetti, ma è anche in grado di fare analisi qualitative e semi-quantitative della composizione elementare della contaminazione analizzata.

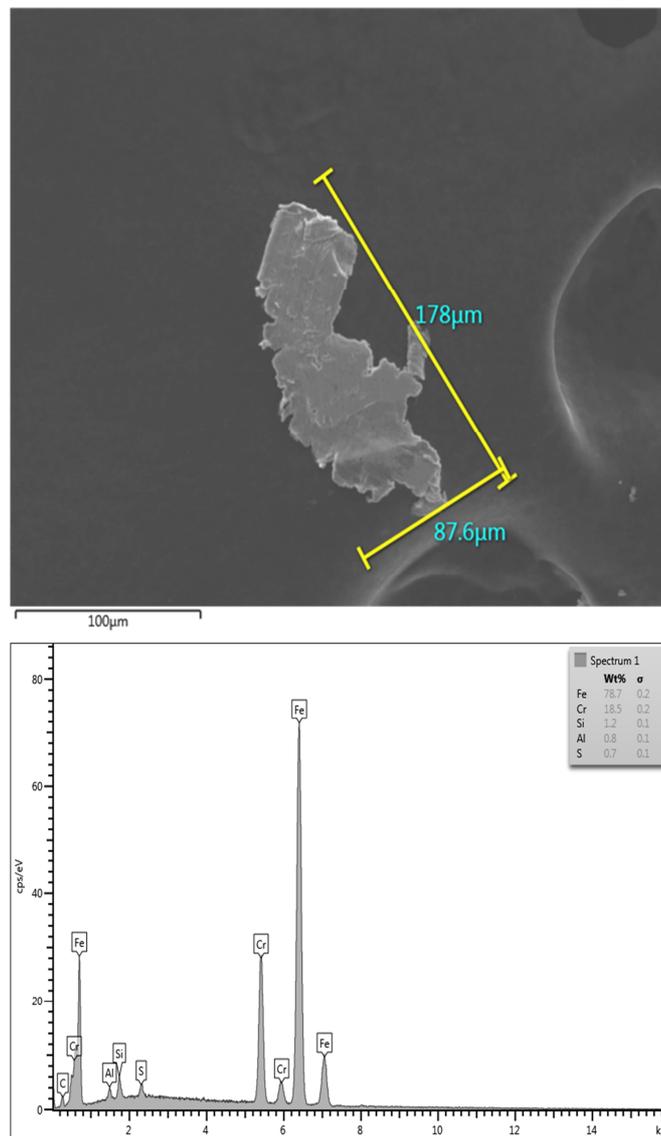
Questo strumento fornisce quindi in output non solo una foto ad alta risoluzione del contaminante ma anche lo spettro che lo caratterizza permettendo ai tecnici del laboratorio di risalire al materiale del contaminante stesso.

Il **microscopio ad infrarossi** come sottolinea appunto il nome usufruisce invece di raggi infrarossi che vengono “sparati” contro il contaminante da analizzare, precedentemente preparato in un apposito vetrino.

Lo strumento è quindi in grado di “valutare” la quantità di raggio che riesce ad attraversare il campione alle differenti lunghezze d’onda dell’infrarosso medio. Sul monitor dell’apparecchiatura compaiono spettri a onde che forniscono informazioni sui pigmenti del campione (purtroppo alcuni, come ossidi e solfuri, sono invisibili all’infrarosso e dunque non vengono rilevati) e soprattutto sui “leganti” che tengono assieme i pigmenti (es. olii, colle, tempere d’uovo, resine sintetiche moderne, ecc.).

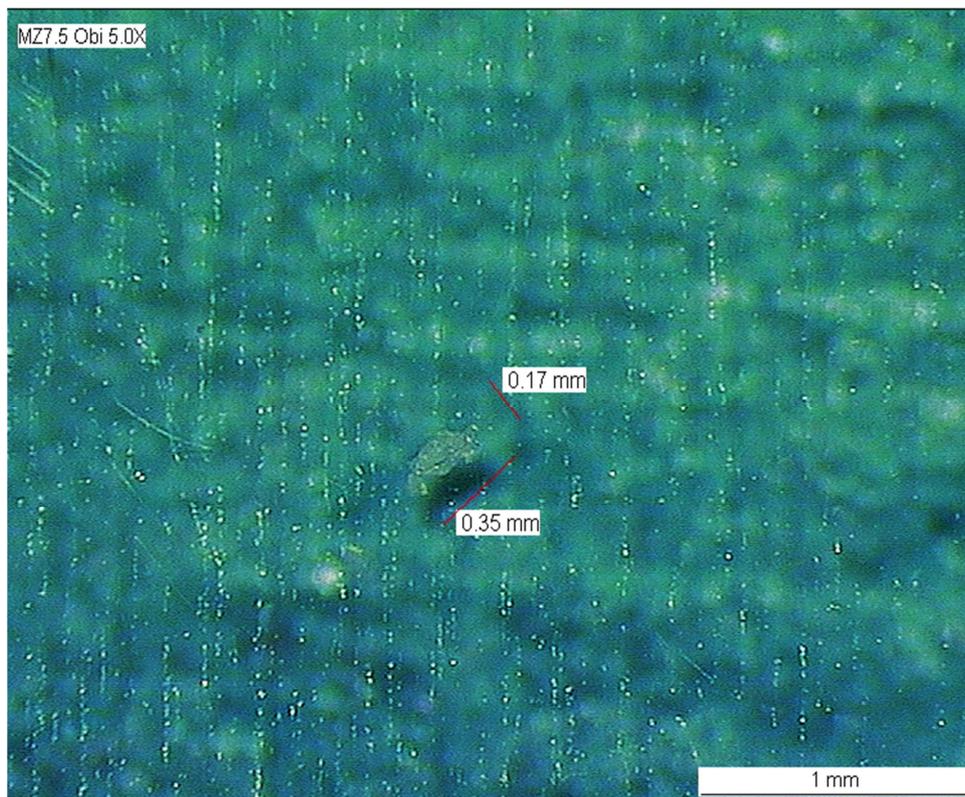
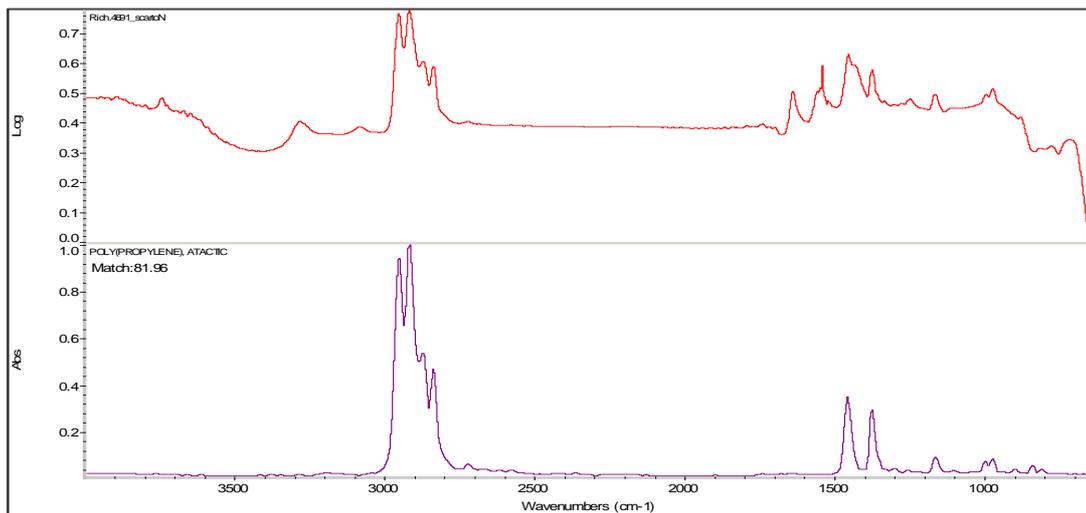
Grazie a questi spettri i tecnici del laboratorio sono quindi in grado di risalire alla composizione della contaminazione indicandoci di quale materiale si tratta.

Segue un esempio di analisi al SEM e di analisi FT-IR di due differenti contaminazioni.



**Figura 4.4-Esempio di analisi al SEM**

L'analisi al SEM fornisce in output foto e spettro, in questo caso si tratta di AISI 430.



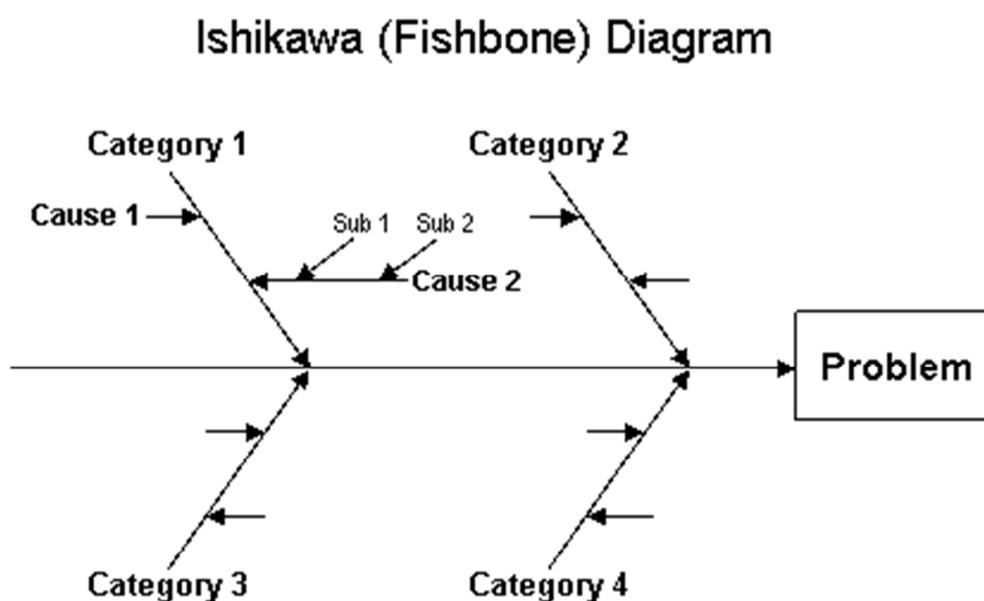
**Figura 4.5-Esempio di analisi al FTIR**

Questa analisi agli infrarossi identifica invece una particella di polypropylene.

### 4.3 Elaborazione dati ed aggressione contaminazione

Le informazioni ricavate dalle analisi sono elaborate e strutturate attraverso alcuni dei tipici strumenti della qualità quali istogrammi, stratificazioni, ecc.

In base alla tipologia di materiale contaminante e alla sua morfologia vengono identificate le possibili cause, queste vengono quindi sintetizzate e schematizzate attraverso diagrammi di Ishikawa, anche chiamati diagrammi a lisca di pesce.



*Figura 4.6-Diagramma di Ishikawa*

Queste informazioni vengono elaborate durante la riunione settimanale sulla contaminazione alla quale partecipano il Responsabile di Produzione, il QMPP (Quality Manager Product in Production), il QM (Quality Manager), il PMPP (Project Manager Product in Production), il Process Engineering o Tecnologo ed i CP (addetti al controllo produzione o controllo qualità); durante queste riunioni vengono quindi decise, attraverso sessioni di brainstorming libero, e poi accuratamente scremate le azioni da intraprendere per l'aggressione la riduzione delle diverse tipologie di contaminanti.

Se necessario le macro-cause vengono quindi scomposte, fino ad arrivare ad un livello aggredibile, attraverso strumenti di Problem Solving come i 5 PERCHE'; ciò permette di definire azioni correttive e contenitive specifiche.



## **Capitolo 5- Contamination Analysis**

### **5.1-Contaminazione iniettori**

L'analisi della contaminazione presente negli iniettori prodotti, come definito nella strategia iniziale, è stata suddivisa in:

- analisi scarti;
- analisi filtri flussaggio pre-testline;
- analisi filtri flussaggio post-testline;
- analisi filtri testline;
- analisi ritorni.

#### **5.1.1-Analisi scarti**

Questa analisi rappresenta l'attività più importante per l'ottenimento delle informazioni relative alla contaminazione all'interno di questo progetto, andando ad esaminare le particelle che causano gli scarti individuamo i veri e propri "colpevoli" ottenendo quindi un "identikit" dell'agente contaminante, inoltre è un'analisi che può essere svolta in continuo e che prende in considerazione tutti gli iniettori prodotti poiché tutta la produzione dopo essere stata assemblata viene "testata" attraverso la Testline.

Gli iniettori, infatti, appena usciti dalla linea di assemblaggio prima di proseguire verso le operazioni di Dressing vengono introdotti nei moduli di Testline e sottoposti a vari test (illustrati nel capitolo 2), tali test danno luogo a diverse tipologie di scarto, in alcuni casi differenziate per clienti/prodotti.

Gli scarti storicamente legati alla contaminazione sono quelli di flusso statico (in pratica il quantitativo di benzina per unità di tempo rilasciata quando l'elettroiniettore è completamente aperto) e di perdita (perdite di benzina con iniettore completamente chiuso), essendo in questo contesto di fronte ad un nuovo prodotto e ad un nuovo processo, è importante verificare che queste informazioni storicamente valide siano però confermate o smentite a seconda dei risultati raccolti sul campo.

E' necessario inoltre, essendo in un contesto aziendale, fare delle scelte legate alle risorse ed al tempo a disposizione, soprattutto non è possibile per ragioni di sovraccarico del Laboratorio di analisi esaminare tutte le tipologie di scarto, ricordandoci che l'iniettore XL3 è solo uno delle molteplici tipologie di iniettori prodotti negli stabilimenti di Pisa.

Gli scarti di Testline XL3 che vengono inizialmente inviati al laboratorio di San Piero a Grado per essere analizzati sono:

- ✓ **N** ( $Q_{static} < Q_{target} - 10\%$ );
- ✓ **N** ( $Q_{d2}$  less 10% than nominal);
- ✓ **I** (Static flow below minimum);
- ✓ **M** ( $Q_{d2}$ :flow low);
- ✓ **D** (Leak rate above maximum) solo gli scarti con valore di leak  $> 10 \mu\text{L}/\text{min}$ ;
- ✓ **H** (Grossleak);
- ✓ **h** (Leak to high for system).

E' necessario precisare il significato di portata statica e portata dinamica:

-la portata statica  $Q_s$  è la quantità di carburante che un iniettore riesce ad erogare, rimanendo costantemente aperto, nell'unità di tempo.

-la portata dinamica  $Q_d$  è la quantità di carburante che un iniettore riesce ad erogare in un singolo ciclo d'apertura e chiusura. E' influenzata, oltre che dal valore della portata statica (che rappresenta il valore massimo di portata istantanea), anche dai transitori di apertura e chiusura (quindi dall'impulso di alimentazione del circuito).

Lo scarto N è lo scarto "principe" per quanto riguarda la presenza di contaminazione, esso sta ad indicare una portata statica inferiore al 10% della tolleranza minima a specifica, la causa di questa problematica è quindi spesso legata alla presenza di particelle contaminanti all'interno dell'iniettore che limitano il flusso ad iniettore completamente aperto. Per tale ragione si è deciso di analizzare questo scarto per la totalità dei clienti, seguendo la prassi sotto descritta:

1. Identificare il pezzo con Data, Turno, Tipologia di Scarto.
2. Aprire quarantena: segregando gli iniettori prodotti mezz'ora prima e mezz'ora dopo il pezzo classificato come scarto.
3. Sottoporre il lotto quarantenato a rerun.

4. Se non si presentano scarti durante il rerun deliberare la quarantena.

5. Se si ripresentano ancora scarti N segregare tutto il materiale e avvertire il QMPP.

**NB:** se nell'arco delle 2 ore successive allo scarto N si ripresenta un'ulteriore scarto di questa tipologia tutti gli iniettori prodotti in questo arco temporale vengono quarantenati.

6. Il pezzo classificato come scarto deve essere spedito al PQS Lab per l'opportuna analisi interna (vedi flusso rappresentato in seguito).

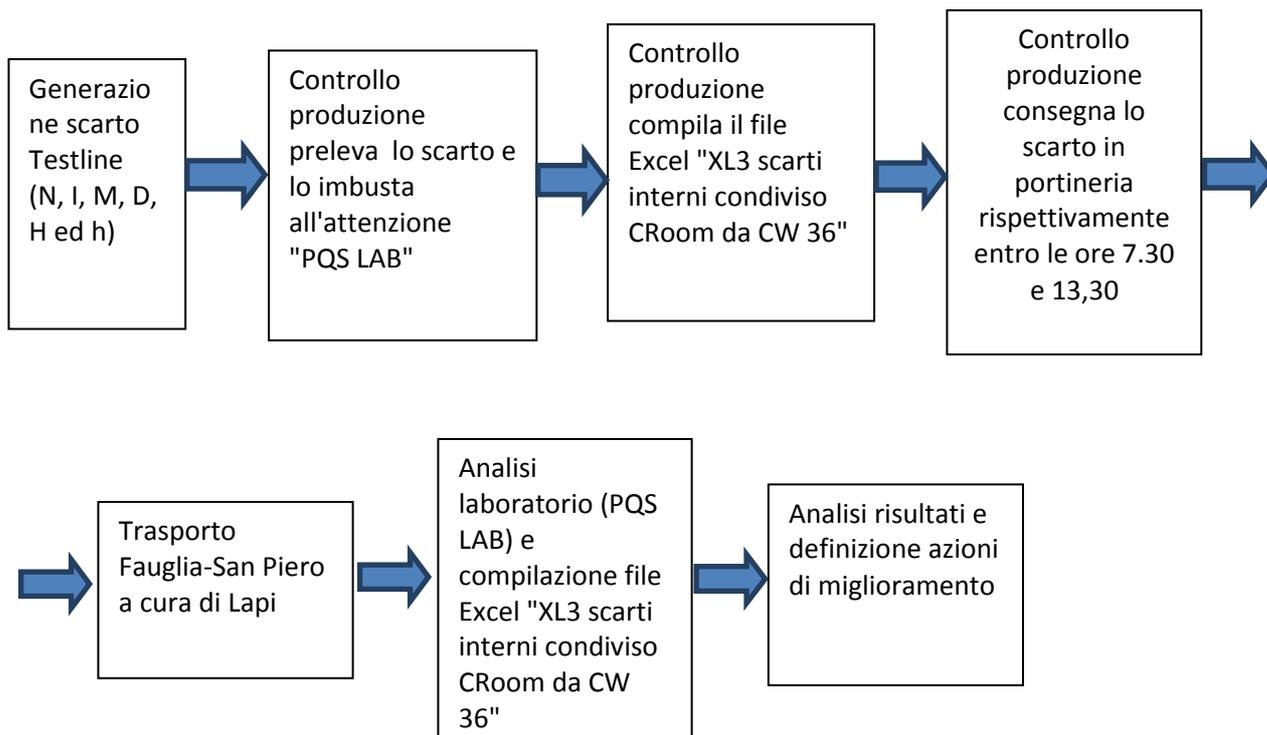
E' da precisare che per alcuni clienti non viene misurata la portata statica ma solo quella dinamica (Il flusso dinamico dell'iniettore cioè la quantità totale di benzina rilasciata durante l'impulso), in questo caso particolare la Qd2 dove il tempo di apertura dell'iniettore è però abbastanza grande da poter essere assimilata alla portata statica e in questo caso lo scarto N corrisponde a "Qd2 less 10% than nominal".

Altro scarto molto significativo è lo scarto I, anche questo è uno scarto legato ad una diminuzione della portata statica, sta ad indicare una portata statica più bassa del limite di tolleranza ma che non arriva sotto il 10%, è di fatto un "fratello minore" dello scarto N, anche qui l'analisi è svolta come per lo scarto N.

Abbiamo deciso di analizzare anche lo scarto M(Qd2:flow low), fratello minore dell'N in relazione alla portata dinamica (l'M ha cioè un flusso dinamico inferiore a quello minimo tollerato ma non più basso del 10%). Sempre in relazione al problema della contaminazione solida a zero ore l'analisi è stata estesa a tre scarti di leak (ovvero di perdita), D, H e h.

Smentendo un trend storico, gli scarti di perdita non hanno apportato informazioni rilevanti in termini di contaminazioni a questo progetto, quello a cui pensiamo sia dovuto ciò è che i test di portata sono effettuati in Testline XL3 prima dei test di Leak. La presenza di contaminazione provoca quindi lo scarto di portata prima che sia possibile effettuare il test di perdita, l'iniettore viene quindi espulso dalla macchina nell'apposita canalina, ma è probabile che invertendo i test avrei il risultato opposto cioè troverei contaminazioni negli scarti di Leak e troverei pochissimi scarti di portata legati a contaminazione. L'analisi degli scarti di Leak è comunque continuata per tutto il progetto per monitorare tale problematica.

Il processo a livello macro che è stato creato all'inizio di questo lavoro di tesi, per le analisi che in seguito saranno mostrate, è il seguente:



**Figura 5.1-Diagramma a blocchi processo di analisi scarti**

Come si può vedere dal flusso sopra rappresentato, questa metodologia, ha reso necessaria la creazione di un file condiviso tra controllo produzione e laboratorio analisi, compilato al momento della generazione dello scarto dal CP e integrato ad analisi terminate dai tecnici del Laboratorio di San Piero a Grado. La necessità di dover affidare questo tipo di analisi legate alla contaminazione al laboratorio situato nello stabilimento di San Piero a Grado, quando la produzione XL3 è invece svolta a Fauglia, crea un grande limite in termini di velocità di inizio analisi, l'analisi inizia infatti solo dopo che lo scarto è arrivato tramite corriere interno da uno stabilimento all'altro.

Una volta che lo scarto arriva al laboratorio viene sottoposto ad una serie di analisi, anche non legate alla presenza di contaminazioni, in questo caso l'interesse per noi maggiore è invece il ritrovamento di un possibile agente contaminante che ha causato lo scarto e la sua analisi in termini di dimensioni, morfologia e materiale. Saranno tenute di conto e registrate anche altre problematiche rilevate in caso di assenza di contaminante, ma solo per fornire all'azienda una libreria di informazioni che potrebbero essere utili in altri ambiti aziendali (riduzione costo scarti, ecc.).

Processo di analisi svolto presso il laboratorio:

- 1) Analisi fori sede tramite microscopio ottico 5x;
- 2) Furness (test di perdita tramite flusso di aria);
- 3) Misurazione quota filtro;
- 4) Misurazione corsa ATB;
- 5) Tear down (apertura dell'iniettore) e ricerca di contaminazione tramite microscopio ottico 5x;
- 6) Analisi componenti interni al microscopio ottico 5x;
- 7) Analisi SEM per eventuali contaminazioni/danneggiamenti componenti.

A CURA DEL CONTROLLO PRODUZIONE										
# rich. o # progressivo	Data scarto	CW	# serie	Modello injector	Cliente	Scarto	Detecte d 1st run (SI/NO)	Data Invi o	AM Q	Vi si vo CP

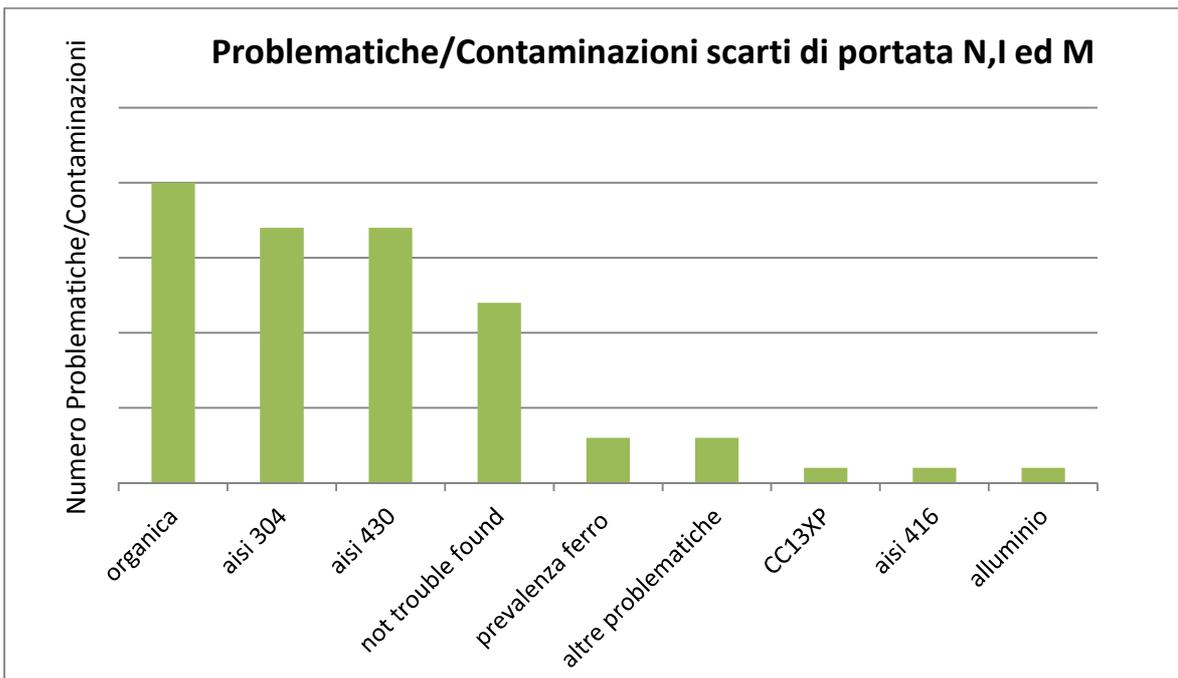
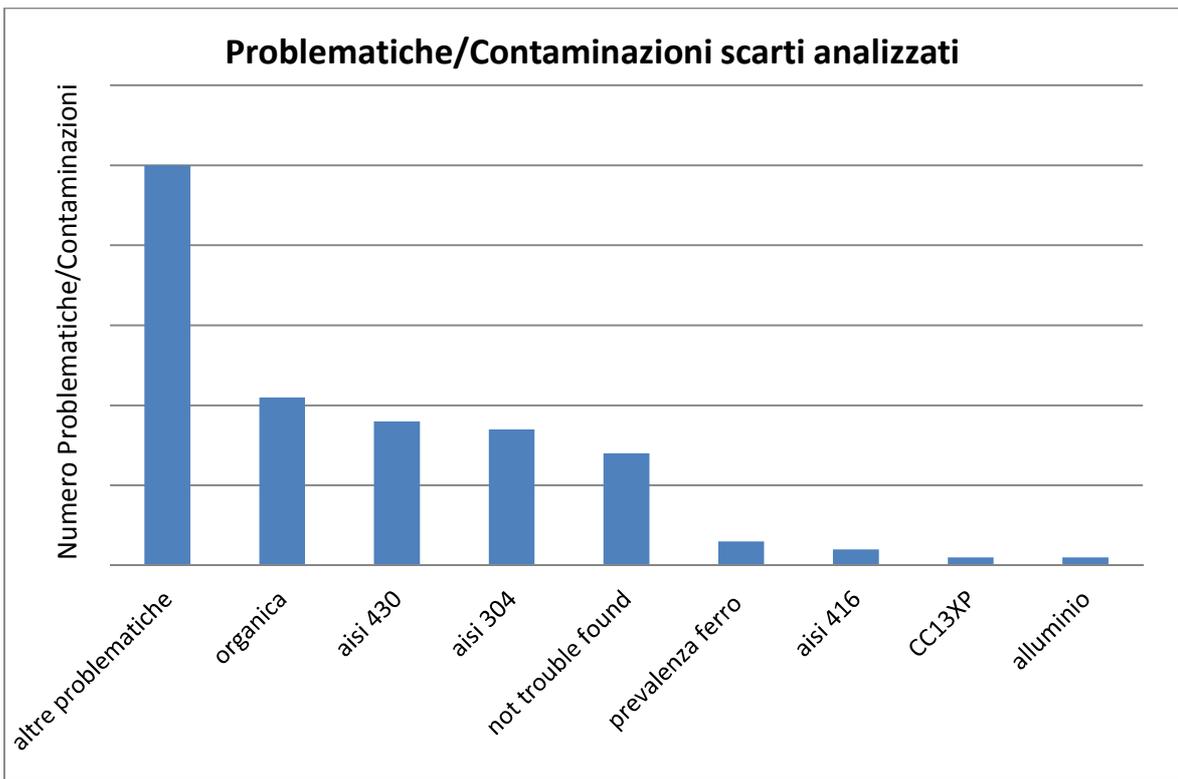
*Tabella 5.1-Tabella Excel relativa all'analisi scarti compilata dal controllo produzione*

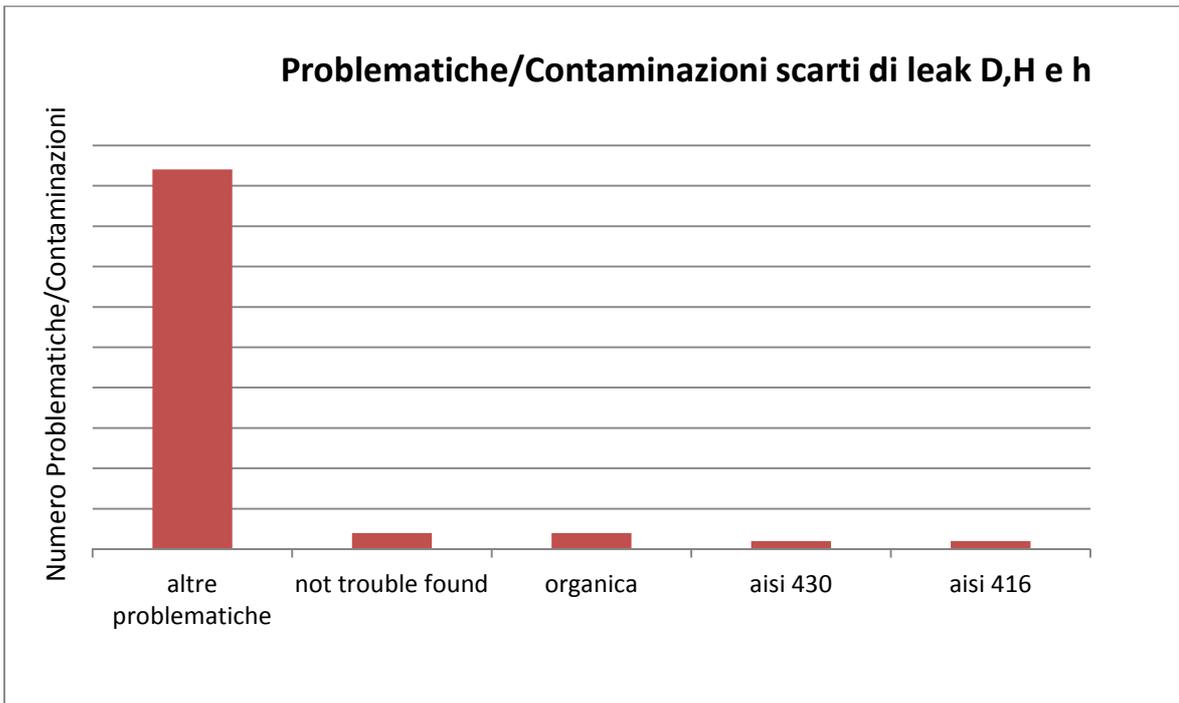
A CURA DEL PERSONALE DEL LABORATORIO												
Data arrivo in lab.	Visivo Lab	Furness	Quota Filtro	Corsa	Contaminazione(SI/NO)	Tipo contaminazione	Zona	Materiale	Dim A (µm)	Dim B (µm)	Data fine Analisi 1Livello (contaminazione)	Altre problematiche

*Tabella 5.2-Tabella Excel relativa all'analisi scarti compilata dal personale del laboratorio*

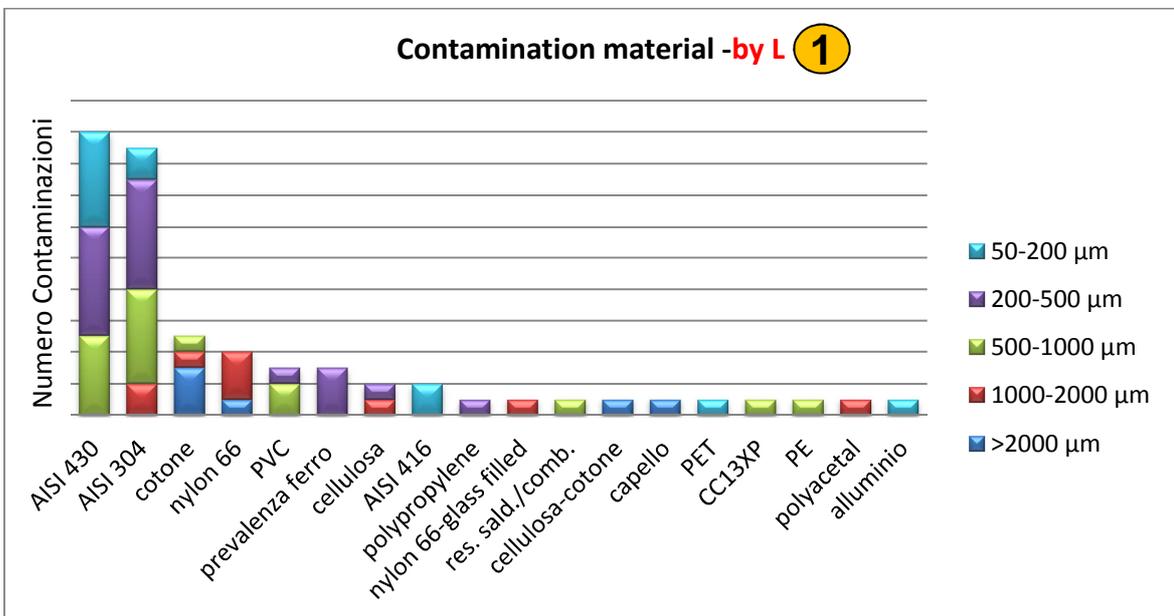
Questo processo di analisi è stato svolto in continuo nell'arco dei 6 mesi di progetto, e si tratta di uno degli strumenti creati durante questo lavoro di tesi che continuerà ad essere utilizzato per il monitoraggio e l'analisi della contaminazione anche dopo la conclusione del presente progetto.

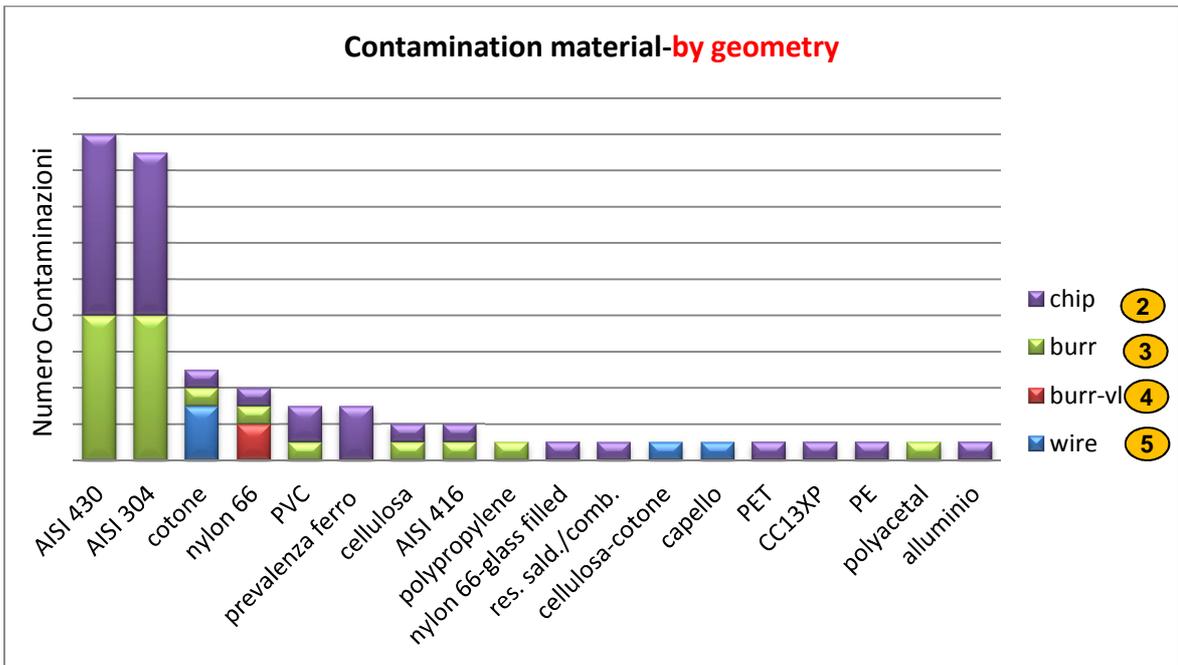
Le informazioni derivanti dall'analisi vengono quindi elaborate e strutturate nei seguenti grafici:



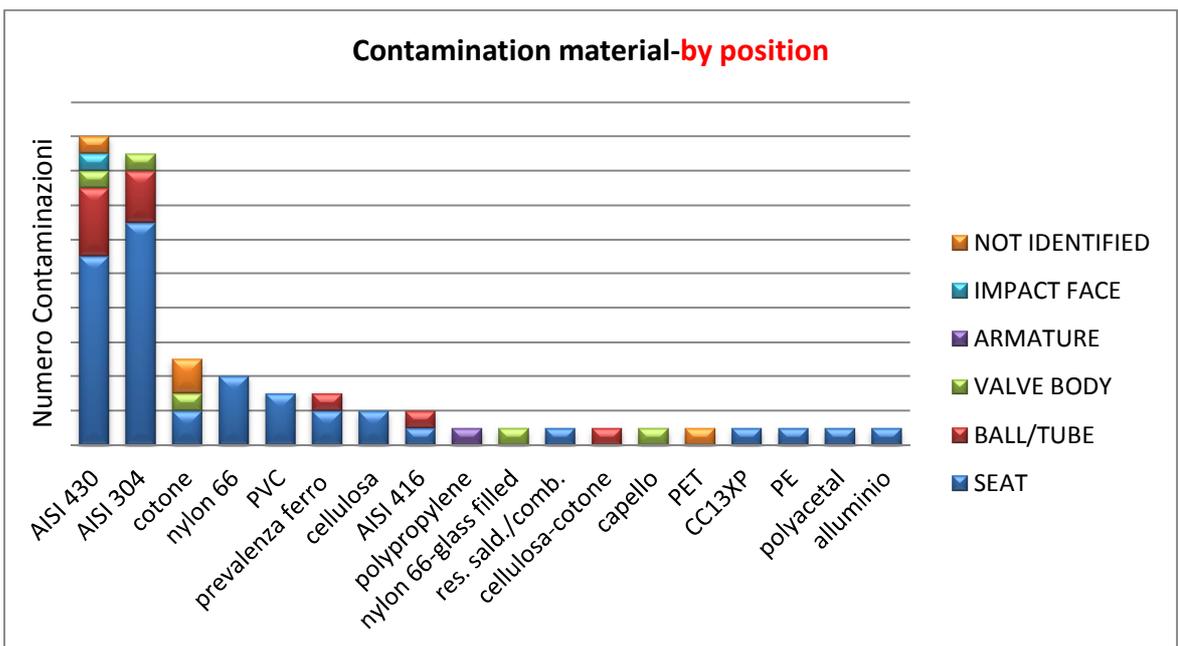
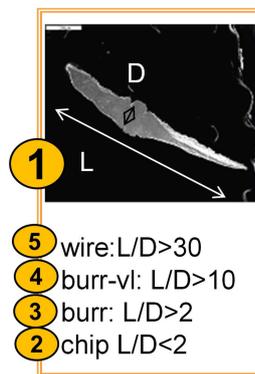


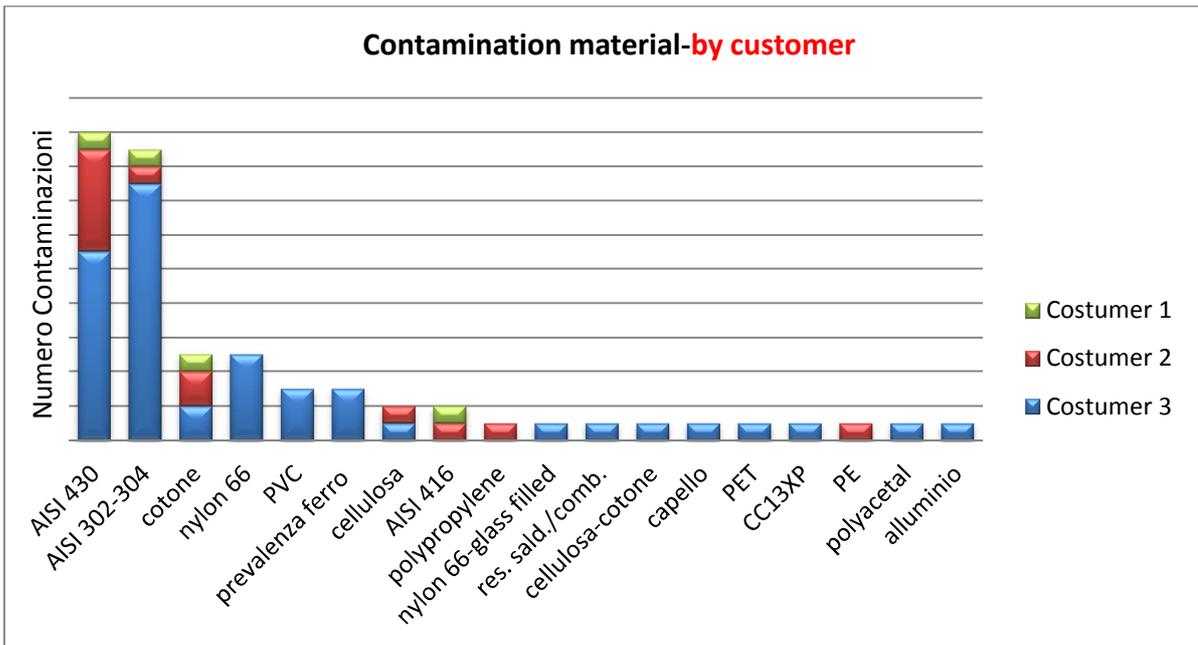
Per poter carpire il maggior numero di informazioni possibile è stato deciso di stratificare le varie tipologie di contaminazione per lunghezza, dimensione, posizione di rirovamento e cliente:



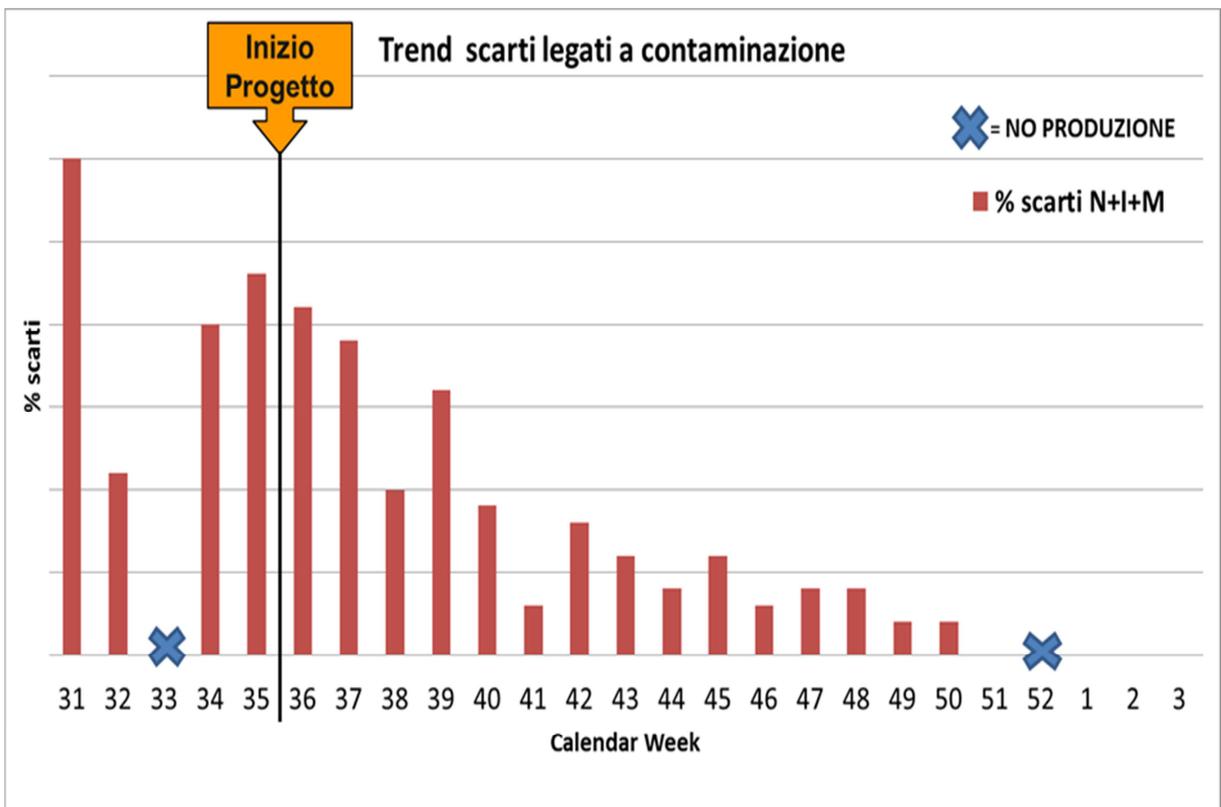


**Legenda:**





Come detto in precedenza gli scarti risultati essere maggiormente rappresentativi per quanto riguarda la presenza di contaminazione sono gli scarti di portata (N,M ed I), e proprio per questa ragione unita al fatto che l'analisi degli scarti è un'attività che può essere svolta in continuo nel tempo (e con tempi di risposta accettabili) è stato deciso di utilizzare questi scarti e la contaminazione riscontrata in essi come metrica principale di questo progetto:



### 5.1.2-Analisi filtri flussaggio iniettore pre-Testline e post-Testline

Questa attività di analisi a differenza della precedente, è un'attività svolta per un ristretto numero di iniettori spalmati nei sei mesi di progetto al fine di ricavare ulteriori informazioni ed indicazioni sulla contaminazione, questo perché non è possibile svolgere anche questo tipo di analisi su tutti gli iniettori dati gli stringenti limiti di risorse e personale dei laboratori di analisi.

Gli iniettori vengono sottoposti a flussaggio e l'eventuale contaminazione fuoriuscita viene raccolta in appositi filtri (si tratta quindi di contaminazione non risultata dannosa per il dispositivo).

L'analisi dell'agente contaminante è invece identica a quella attuata precedentemente, cioè si ha l'individuazione di morfologia, dimensioni e materiale della contaminazione; quello che varia è il metodo di individuazione ed estrazione della contaminazione stessa. Nell'analisi degli scarti l'iniettore scarto è sottoposto all'operazione di Tear-down cioè di apertura, dopodiché è posto da un tecnico sotto microscopio ottico e tramite apposite "pinzette" si cerca di estrarre la contaminazione individuata per poi farla analizzare come descritto in precedenza.

In questo caso invece si tratta di iniettori non ancora testati (pre-Testline di cui la conformità è stata accertata in seguito a questa analisi) o iniettori testati e risultati buoni (post-Testline) al cui interno viene fatto passare un flusso di liquido in pressione che permette l'estrazione delle particelle contaminanti.

Per ogni filtro, il quale corrisponde al flussaggio di 4 iniettori, vengono analizzate le 5 particelle più grandi (non è fattibile l'analisi di tutte le particelle finite sul filtro per motivi di tempo). La differenza fondamentale rispetto all'analisi degli scarti e all'analisi dei ritorni è che in questo caso NON si tratta di prodotti identificati come NON CONFORMI ma di prodotti CONFORMI; è utile quindi per verificare quali tipologie di contaminanti caratterizzano anche gli iniettori che risultano conformi.

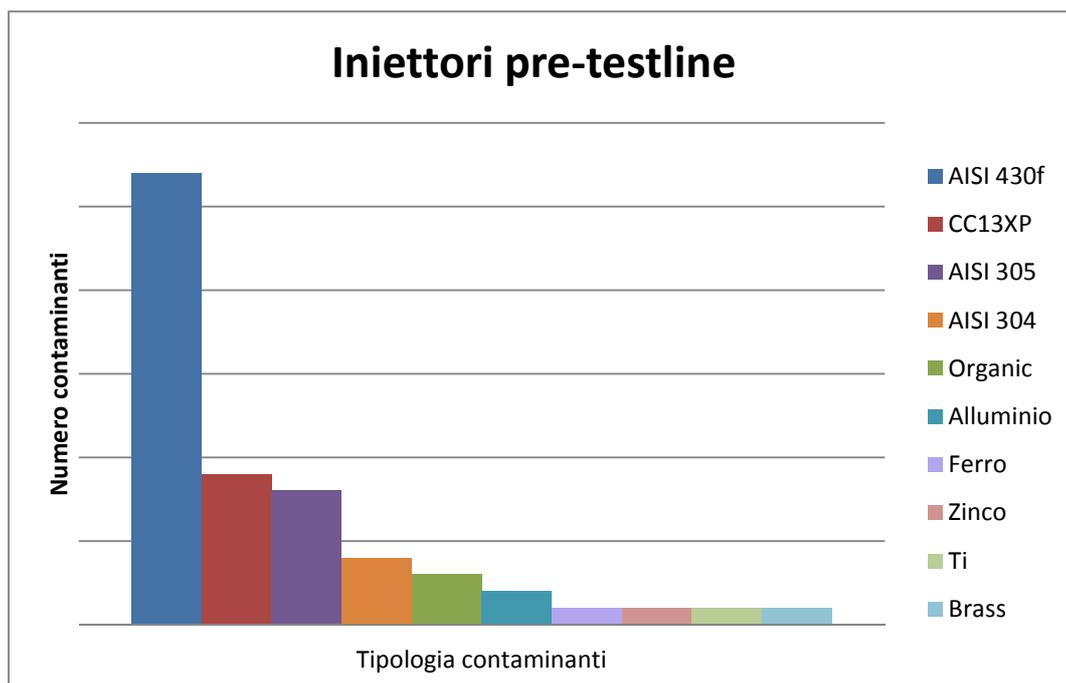
La scelta di analizzare sia iniettori pre-testline che post-Testline è dovuta al fatto che volevamo avere un confronto della contaminazione presente prima e dopo i test; come detto in precedenza dopo l'analisi anche gli iniettori pre-test line vengono testati per accertare la loro conformità. Per avere un confronto efficace tra gli iniettori flussati prima

e dopo il modulo Testline, vengono utilizzati per l'analisi iniettori che appartengono allo stesso lotto.

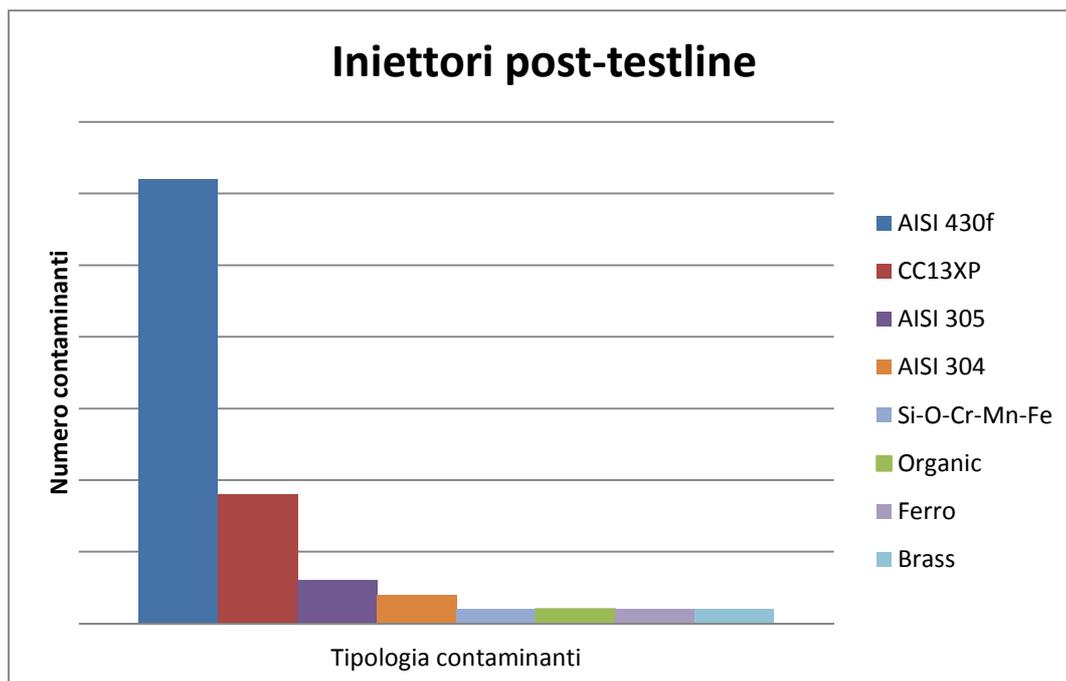
Sono stati analizzati 40 iniettori pre-Testline e 40 iniettori post-Testline, per un totale di 20 filtri; di fatto si è deciso di intraprendere questa analisi pur sapendo che poteva essere effettuata per un numero di iniettori limitato, per avere un riscontro/conferma rispetto alla tipologia di contaminante trovato negli scarti (pezzi NON conformi) e quindi aumentare il numero di informazioni a disposizione.

In sostanza si vuole verificare che le particelle più piccole che fuoriescono dall'iniettore durante il flussaggio siano o meno indicatori delle particelle più grandi che causano effettivamente scarti.

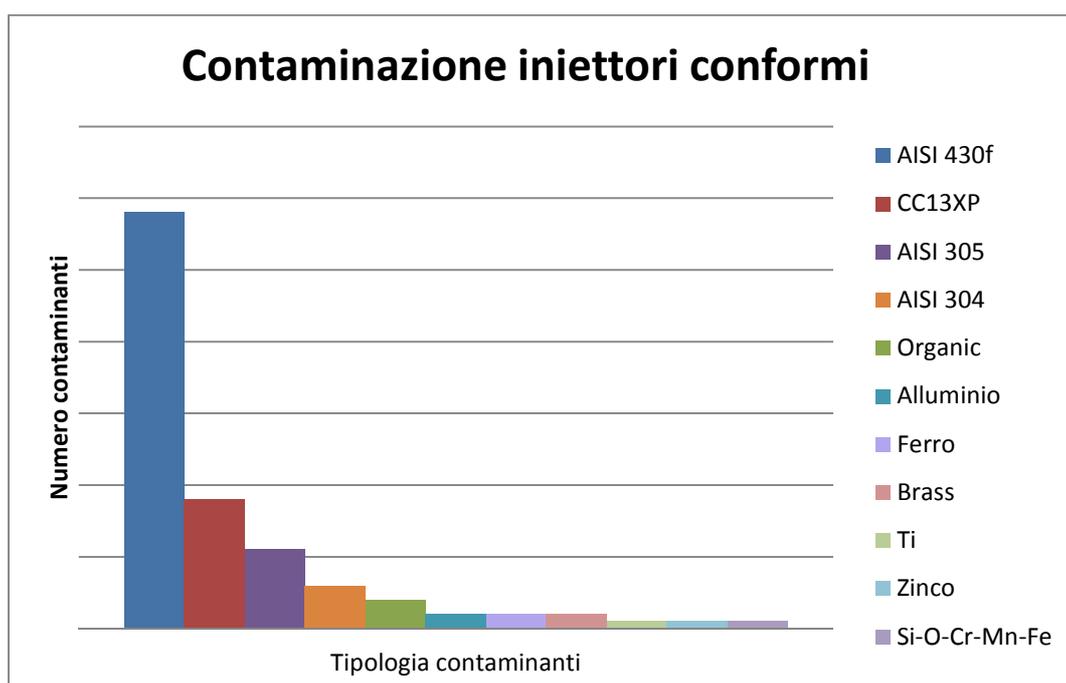
Ecco i risultati derivanti dai 10 filtri relativi al flussaggio dei 40 iniettori pre-testline:



Ecco i risultati derivanti dai 10 filtri relativi al flussaggio dei 40 iniettori post-testline:



Come è possibile osservare dai due grafici gli agenti contaminati presenti negli iniettori prima e dopo i test risultano essere generalmente gli stessi, ciò significa che durante i test essi non vengono espulsi o vengono espulsi solo in parte. Anche gli iniettori analizzati prima dell'ingresso in testline sono risultati conformi; unendo a questo punto i due grafici otteniamo un quadro generale delle particelle presenti all'interno degli iniettori conformi, queste informazioni saranno un altro punto importante da considerare all'interno di questo progetto.



### 5.1.3-Analisi filtri Testline

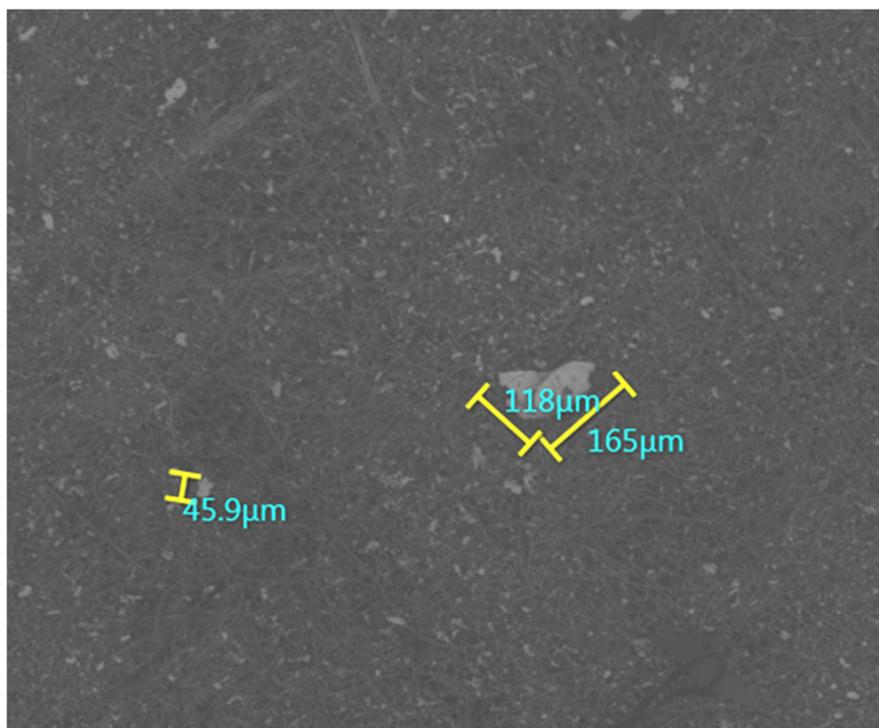
In fase di pianificazione è stato deciso di far analizzare periodicamente il filtro dei moduli Testline, tali analisi come quelle del paragrafo precedente hanno lo scopo di fornirci ulteriori indicazioni sulla contaminazione, indicazioni provenienti dalle piccole particelle che si è ipotizzato fuoriuscire dagli iniettori durante i test e che quindi ci possono essere indicatori di possibili particelle più grandi e dannose.

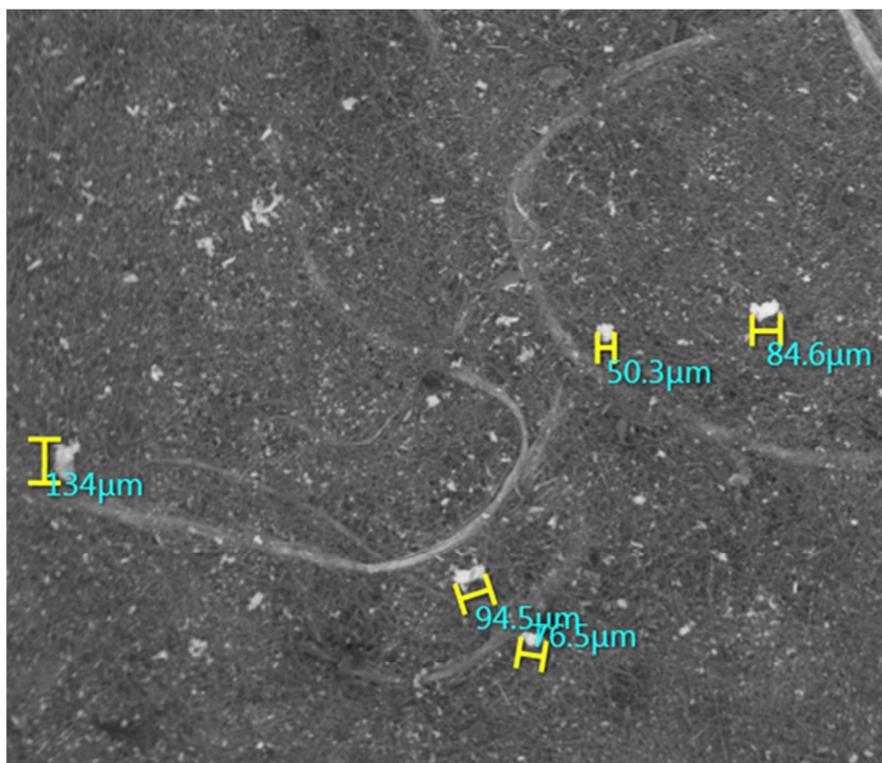
Non avendo informazioni storiche su delle tempistiche significative di analisi di questi filtri (anche perché tali tempistiche non dipendono dai tempi di lavoro dei filtri ma piuttosto dal numero di iniettori flussati), per semplicità abbiamo deciso di analizzarne 1 ogni 2 mesi in accordo con le tempistiche di cambio dei filtri stessi, coprendo un arco temporale di sei mesi ed analizzando il filtro di tutti e tre i moduli.

#### Esempio primo filtro-modulo 1)

Sono state analizzate le 10 particelle più grandi, di cui quella di dimensione maggiore risulta essere 165 Micron mentre quella con dimensione più piccola è pari a 46 Micron.

Tutte le particelle analizzate sono risultate essere di materiale CC13XP, ecco le immagini al SEM delle particelle in questione.





**Figura 5.2-10 particelle più grandi filtro Testline modulo 1**

In sostanza, al cambio dei filtri dei moduli Testline, essi vengono inviati al laboratorio di San Piero a Grado per essere aperti ed analizzati ed individuare quali tipologie di contaminazioni si stanno diffondendo nella produzione degli iniettori, senza però essere al momento dannose per gli stessi poiché vengono espulse durante i test.

#### 5.1.4-Analisi ritorni dal cliente

I ritorni da cliente caratterizzati da contaminazione, anche se legati ad un danno di immagine verso le case automobilistiche non trascurabile, sono una fonte di informazione notevole poiché ci indicano una problematica che in questo caso è riuscita in qualche modo a sfuggire al sistema di controllo interno dell'azienda, indicandoci una direzione ben definita dove poter intervenire.

In generale, a differenza degli scarti, i ritorni danno luogo ad indicazioni sulla contaminazione relativa al passato, è possibile infatti che al momento dell'analisi del pezzo ritornato la problematica non ci sia più perché tale problema è già stato identificato internamente ed affrontato in maniera corretta (nell'ipotesi più ottimistica), oppure significa che molti dei prodotti che sono stati inviati ai clienti sono caratterizzati da questa problematica perché internamente fino a quel momento il problema non è stato eliminato o identificato (nell'ipotesi più pessimistica).

In questo contesto, i ritorni da cliente hanno fornito informazioni fondamentali per l'individuazione e l'eliminazione della causa che prima non era stata individuata. Ciò significa che la nostra *detection* (cioè quella della Testline) non ci permette di arrestare il prodotto caratterizzato da queste contaminazioni prima che arrivi al cliente; sorgono quindi molte domande a cui dover rispondere, perché la Testline non ha individuato la non conformità? Da cosa deriva questo agente contaminante? Come fare per eliminare la causa di questo problema? Domande a cui cercheremo di dare una risposta in questo lavoro.

Un esempio è dato da contaminazioni che durante il processo di assemblaggio hanno aderito ad un componente interno; non essendo "libera" all'interno del circuito benzina la particella contaminante non ha ripercussioni evidenti sulle prestazioni del prodotto e non viene quindi individuata dalla Testline. Tale particella può distaccarsi però quando l'iniettore è stato montato e testato sul motore, generando quindi un problema ed un conseguente ritorno.

I dati relativi a queste analisi non possono essere mostrati poiché si tratta di informazioni riservate.

## 5.2-Contaminazione componenti

Come detto in precedenza una delle principali fonti di contaminazione è rappresentata dai componenti stessi che formano l'elettroiniettore, si tratta dei componenti inseriti in linea prima del posizionamento del filtro, dopo l'inserimento del filtro infatti l'iniettore può essere considerato chiuso ed immune da eventuali agenti contaminanti; questo tipo di analisi può aiutarci a capire da dove provengono i problemi di contaminazione.

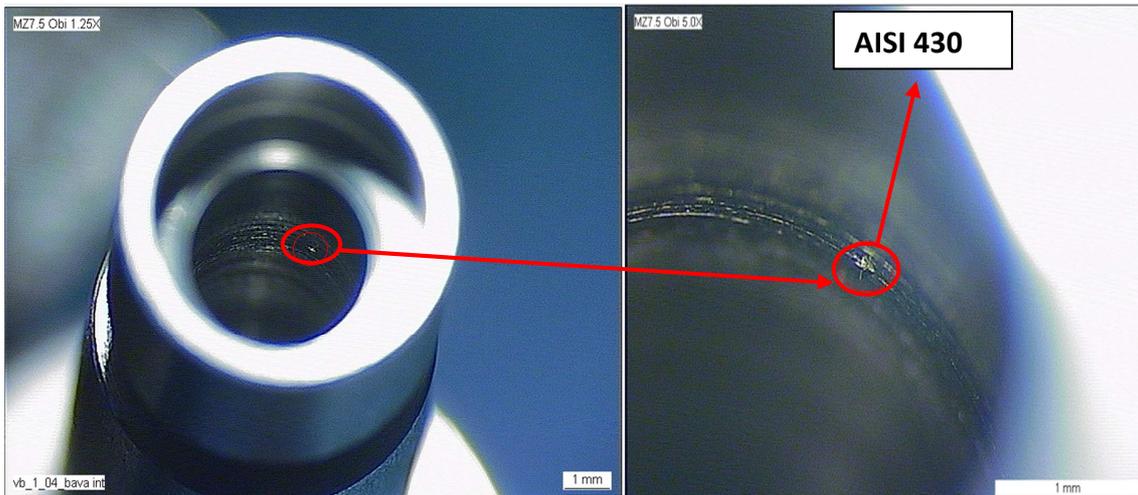
In pratica può avvenire che i componenti entrino in linea caratterizzati da qualche forma di contaminazione, in particolar modo qui si fa riferimento non tanto ad una contaminazione per esempio organica "raccolta" su qualche banco della Clean Room, ma ci si riferisce a contaminazioni (di solito metalliche) dovute al processo di lavorazione dei componenti come ad esempio bave, trucioli, ecc. che il processo di lavaggio non è in grado di rimuovere.

Per accorgersi di questo tipo di contaminazioni, che sono tra le più "pericolose", non è sufficientemente efficace l'analisi di Cleanliness "classica" che possiamo vedere al capitolo 3 perché anche in questo caso il getto di fluido emesso sul componente non è detto che riesca a staccare l'eventuale agente contaminante (che invece è possibile si distacchi durante le varie operazioni di assemblaggio).

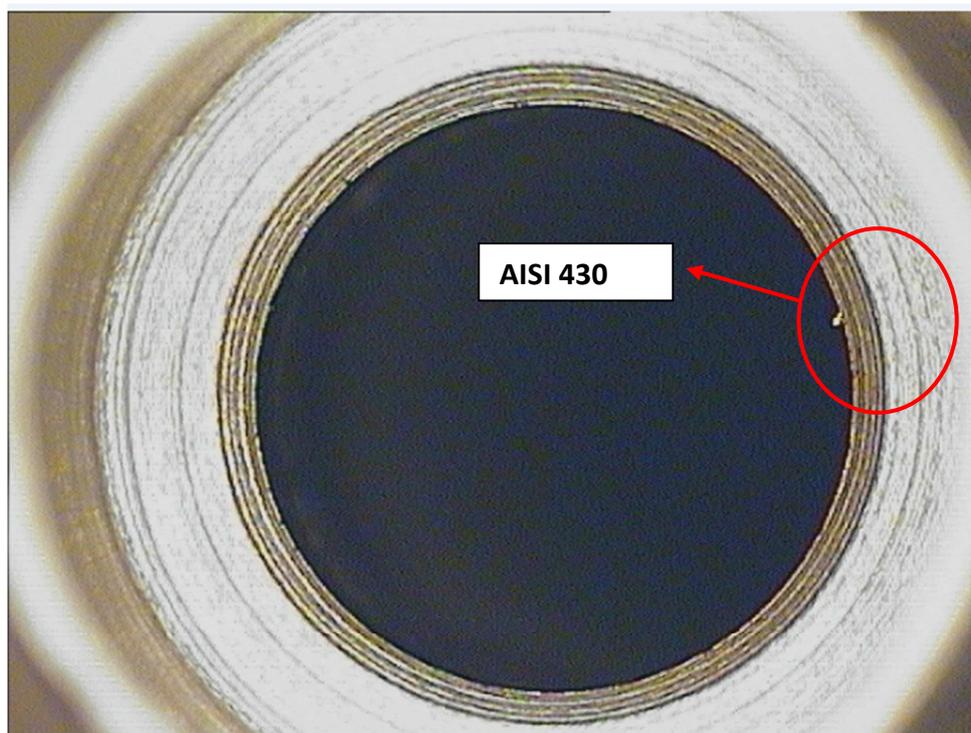
E' necessario quindi un accurato controllo visivo per individuare tali problematiche, anche un controllo umano con microscopio ottico 5.0X non dà la sicurezza certa di individuare le bave più nascoste, ma in assenza di altri mezzi (telecamere, ecc.) può risultare una buona alternativa.

A causa di tali problematiche il componente Valve Body (unico componente di materiale aisi 430) fin da prima dell'inizio del presente progetto viene selezionato 100% a spese del fornitore tramite controllo umano all'ottico 5.0X da un azienda esterna; come descritto di seguito tale attività ha portato scarsi risultati e dovranno essere introdotte quindi nuove azioni per limitare questo problema.

Si è infatti deciso di analizzare, tramite audit di 240 Valve Body (1 tray) a settimana per un mese, lo stato dei Valve Body prima dell'ingresso in linea (cioè già selezionati dall'ente esterno) trovando evidenti tracce di contaminazione; vediamo alcuni esempi:



**Figura 5.3-Esempio contaminazione componente Valve Body**



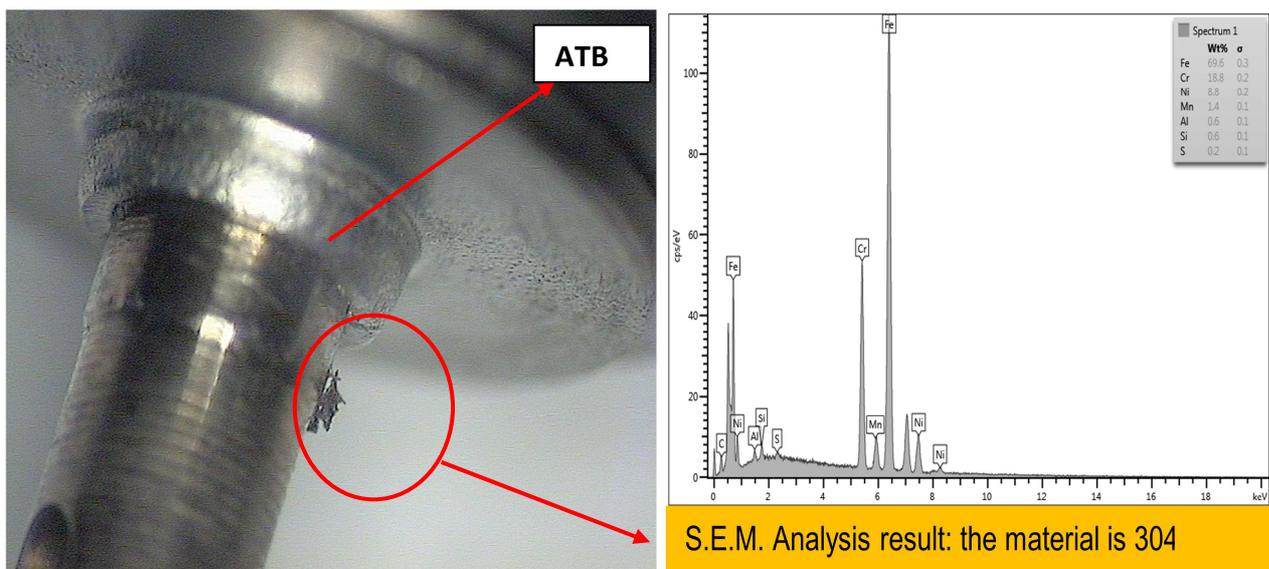
**Figura 5.4-Esempio contaminazione componente Valve Body**

Nonostante la selezione vediamo quindi che arrivano in linea alcuni componenti contaminati, nel proseguo di questo lavoro di tesi sarà approfondita tale problematica.

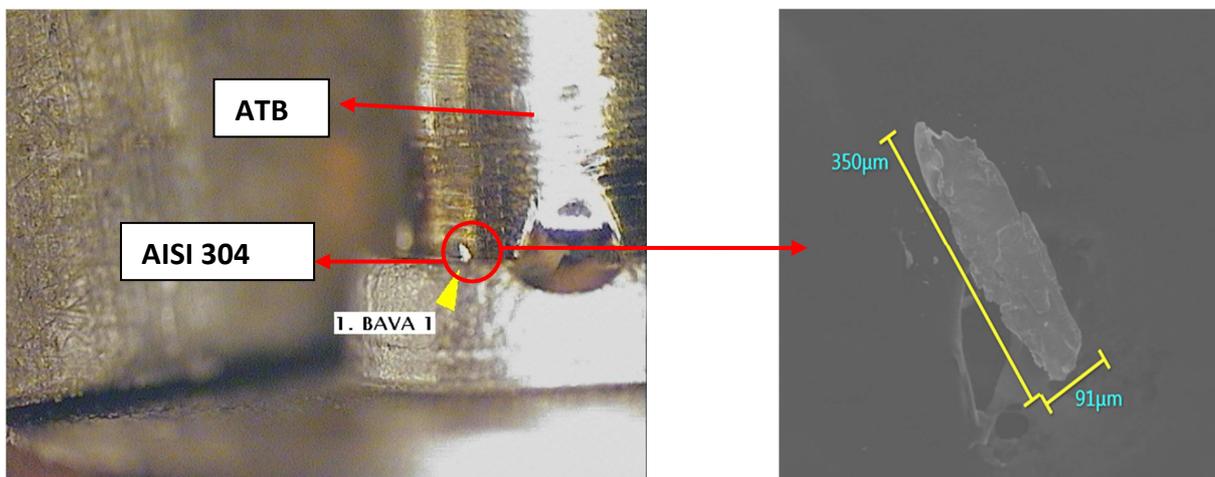
I ritorni cliente, prima descritti, hanno portato alla luce anche il problema della contaminazione derivante dal componente Needle; in seguito a questi ritorni è stata implementata un'attività di analisi sul componente Needle, a cui le contaminazioni sono state ricondotte per materiale e morfologia, confermando tale problematica:



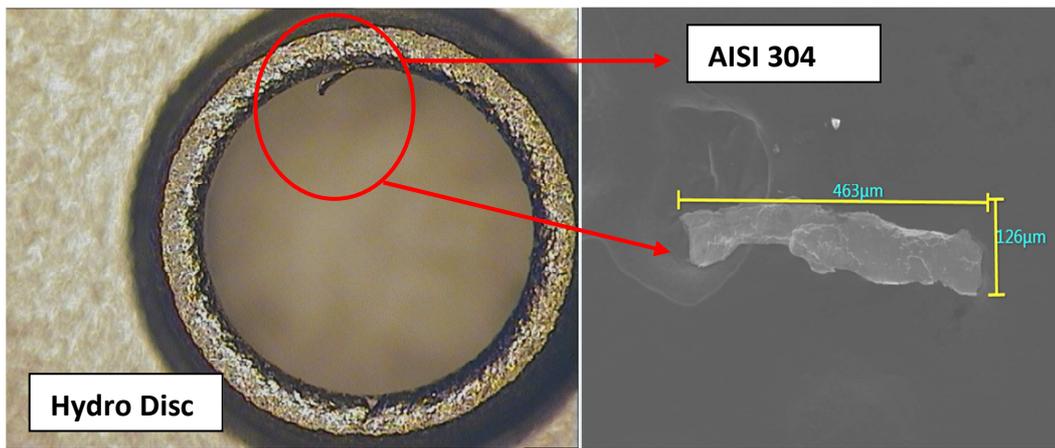
motivi legati ai carichi di lavoro che pesano su di essi, si è deciso di sfruttare e sensibilizzare gli operatori del controllo produzione che durante le loro mansioni sono a contatto diretto con i componenti ed hanno la possibilità di osservare eventuali problematiche. Vengono svolte mirate analisi sui componenti costituiti del materiale contaminante ritrovato negli scarti e nei ritorni cliente; analisi svolte attraverso l'utilizzo di microscopi ottici ad alta risoluzione. Grazie a questi controlli sono state individuate le problematiche di cui mostriamo qui alcuni esempi:



**Figura 5.7-Esempio contaminazione componente ATB**



**Figura 5.8-Esempio contaminazione componente ATB**



**Figura 5.9-Esempio contaminazione componente HDD**

Tutte queste analisi ci hanno aiutato a capire quali potessero essere le cause della contaminazione trovata all'interno degli iniettori finiti, che verranno strutturate e descritte nel capitolo 5.

Bisogna sottolineare che anche se l'ATB è di fatto un sub-assembly poiché costituito da tre diversi componenti (Hydro Disc, Needle e Armature) in relazione alla linea di assemblaggio esso è considerato come componente unico poiché entra in linea già completamente assemblato. Il componente che può introdurre contaminazione sulla linea di assemblaggio finale è quindi l'ATB anche se come vedremo questa contaminazione può derivare dai sotto-componenti che lo costituiscono o dai processi di assemblaggio precedenti all'assembly line e dovuti al modulo ATB.

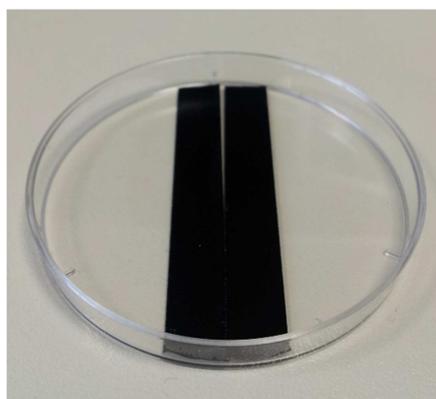
### 5.3-Contaminazione linea

In questo contesto è fondamentale andare a capire se e dove è presente la contaminazione all'interno dei vari moduli e zone della linea, e soprattutto di che tipo di contaminazione si tratta. Ci concentreremo esclusivamente sui moduli M10, M20, M25, M30, M40, M50, M60 cioè quei moduli precedenti al modulo di inserimento filtro compreso, con aggiunta della stazione di piantaggio Hydro Disc modulo ATB da sempre caratterizzata da profonde criticità.

La contaminazione presente sulla linea ci fornisce un'indicazione sulle tipologie di contaminazioni prodotte dalle operazioni svolte durante il processo di assemblaggio, andando quindi ad esaminare dimensioni, morfologia e materiale di queste particelle possiamo capire se siamo di fronte alle stesse particelle presenti all'interno degli scarti o se tali particelle (anche se non dovrebbero essere presenti ugualmente sulla linea) al momento non sono la causa delle nostre non conformità, aiutandoci ad individuare eventuali root causes.

Tale attività di raccolta contaminazione direttamente sulla linea tramite apposite "trappole", ha soprattutto consentito di definire una mappatura della contaminazione sulla linea stessa, anche se come abbiamo detto la contaminazione è in continua evoluzione e questa libreria rappresenta solo una foto della contaminazione durante i sei mesi in cui è stato svolto questo lavoro.

Le "trappole" per la raccolta della contaminazione non sono altro che piccoli "vetrini" da laboratorio in plastica del diametro di circa 55 mm in cui vengono posti dei nastri adesivi in carbonio che permettono una successiva analisi al SEM delle contaminazioni.

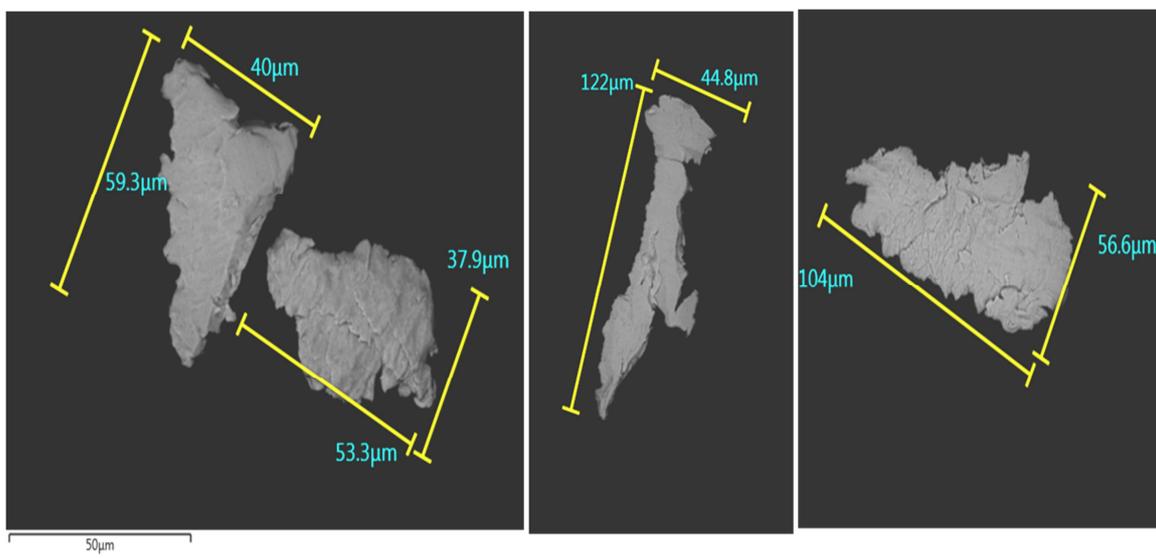


**Figura 5.10-“Trappole” utilizzate per la raccolta della contaminazione**

### 5.3.1 Mappatura contaminazione linea e stazione 5 modulo ATB

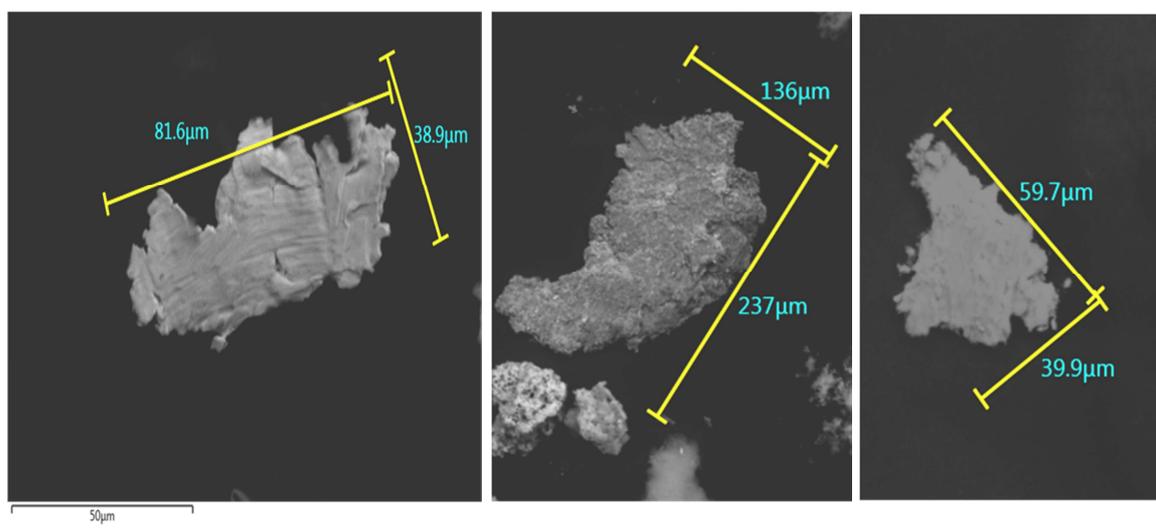
I risultati di questa raccolta hanno dato luogo ad una libreria di contaminazioni, eccone alcuni esempi:

#### ➤ modulo M10



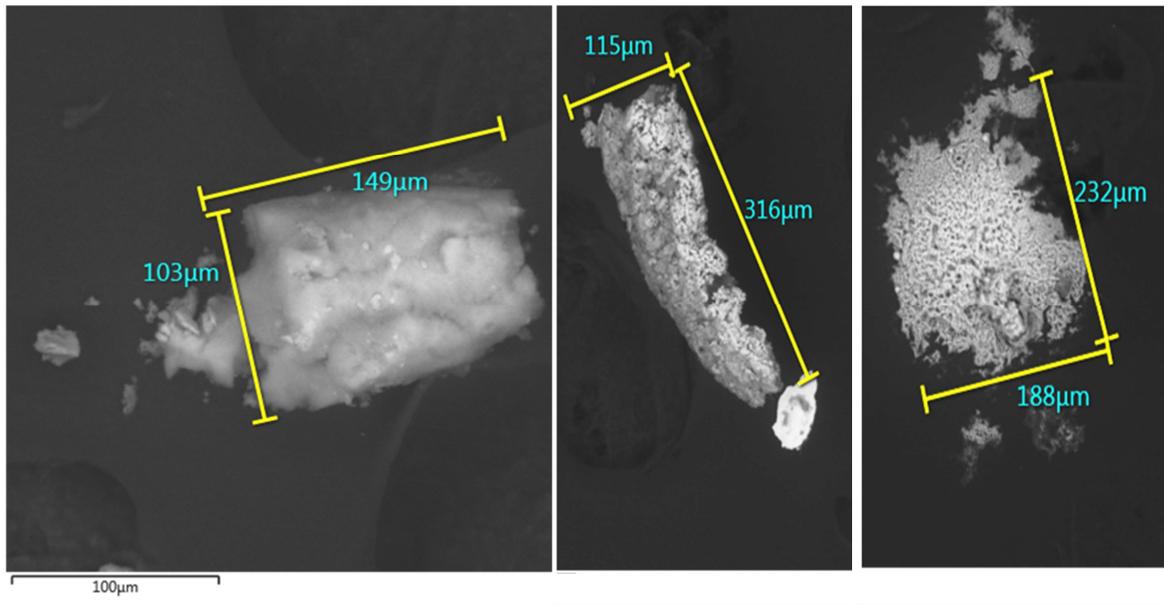
*Figura 5.11-Esempi di AISI 430 modulo10*

#### ➤ modulo M20



*Figura 5.12-Esempi di AISI 430-Alluminio-Alluminio modulo 20*

➤ **modulo M25**

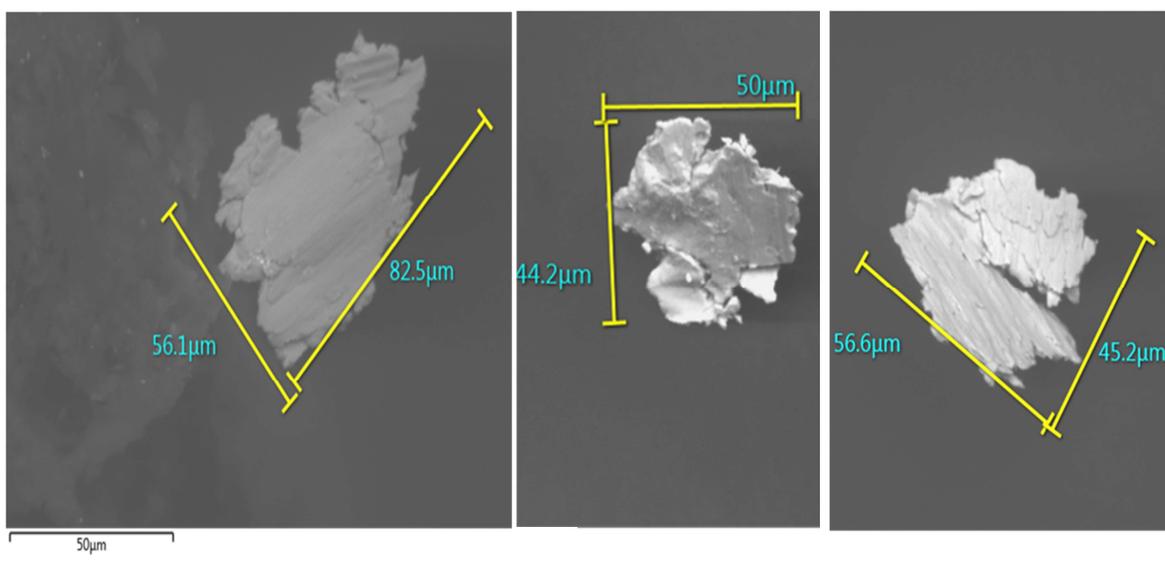


*Figura 5.13-Esempi di AISI 430 modulo 25*

➤ **modulo M30**

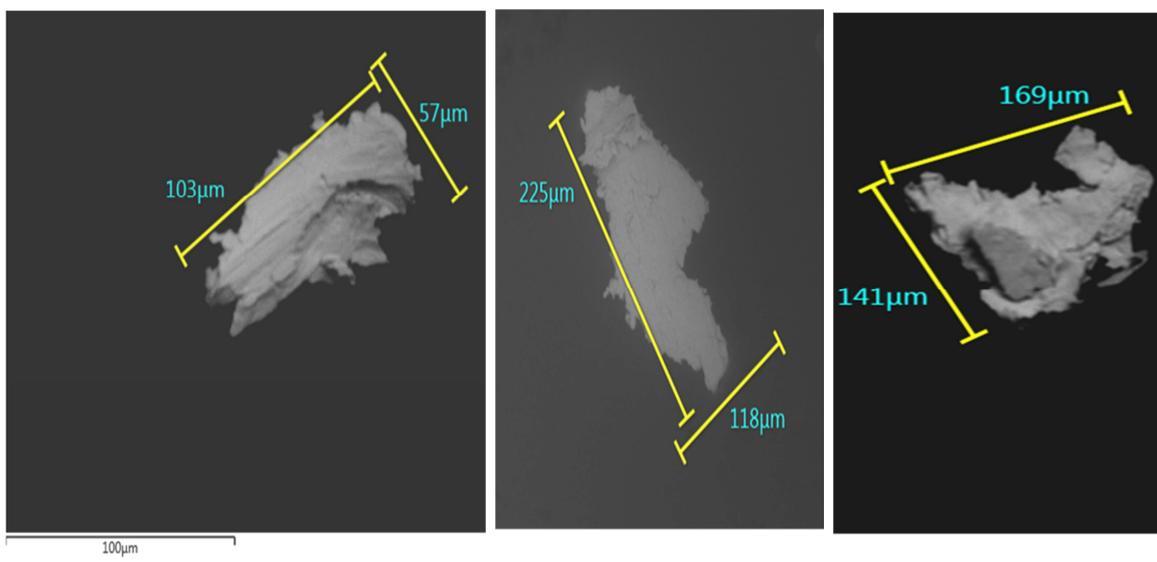
**AL MOMENTO NON SI HANNO INFORMAZIONI IN RELAZIONE A QUESTO MODULO**

➤ **modulo M40**



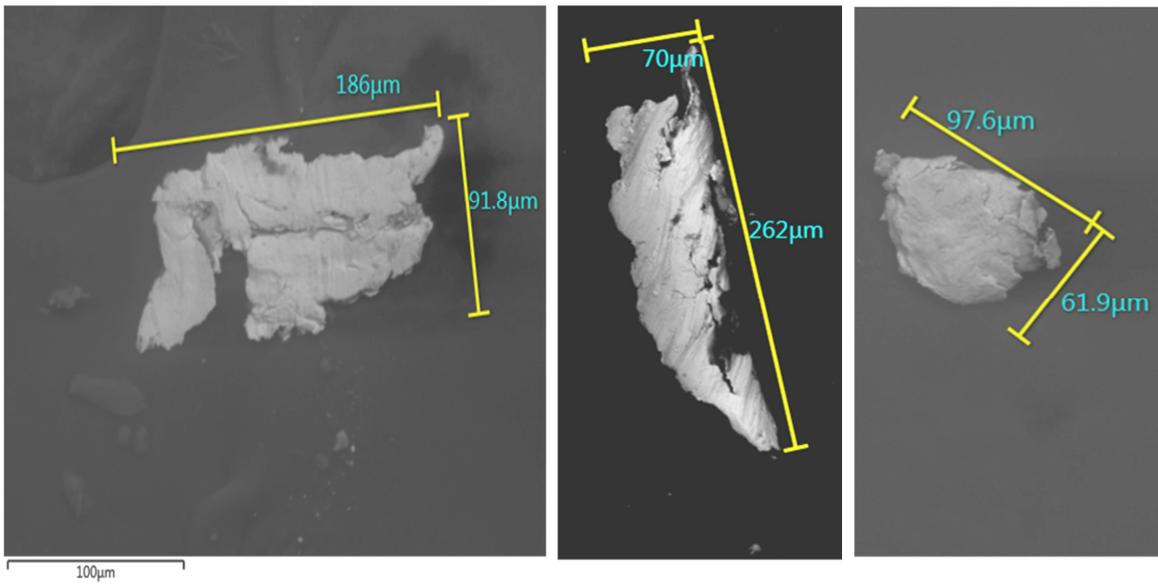
*Figura 5.14-Esempi di Brass- adjT/antibounce modulo 40*

➤ **modulo M50**



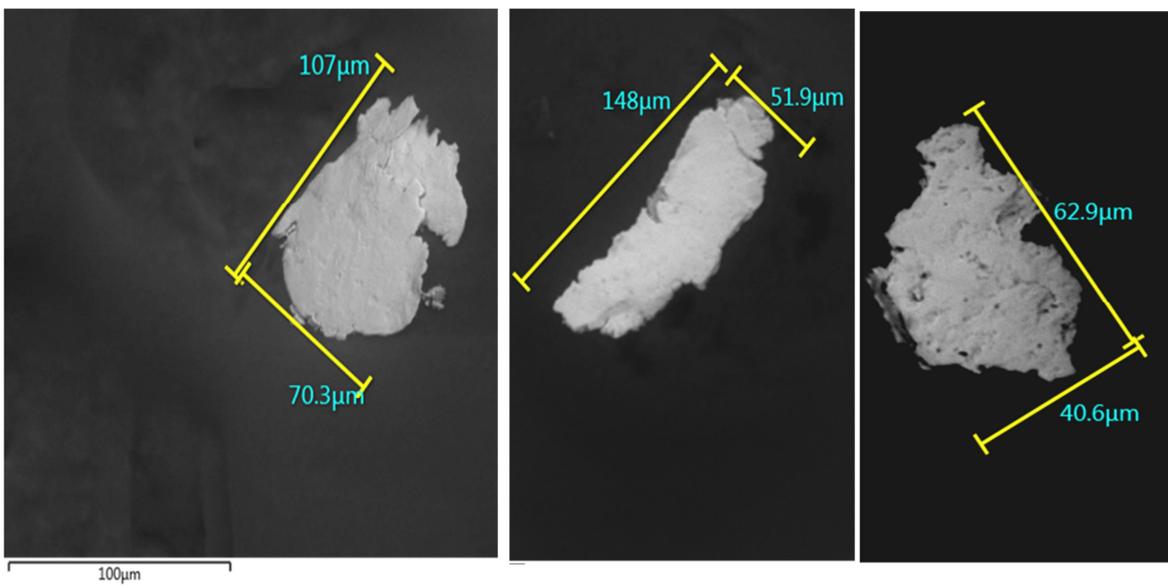
*Figura 5.15-Esempi di AISI 430 modulo 50*

➤ **modulo M60**



**Figura 5.16-Esempi di Brass-Prevalenza Ferro-AISI 430 modulo 60**

➤ **stazione 5 modulo ATB**



**Figura 5.17-Esempi di AISI 304-AISI 304-CC13XP stazione 5 modulo ATB**

Questo studio rappresenta una fotografia della contaminazione sulla linea nei sei mesi del progetto, tale raccolta dati ha una doppia funzionalità, aiutarci a capire se la contaminazione trovata negli iniettori ha le stesse caratteristiche come morfologia, dimensioni e materiali rispetto a quella presente sulla linea e quindi è presente una elevata probabilità che le contaminazioni siano introdotte dalle operazioni svolte nella linea di assemblaggio oppure se essendo molto differenti non derivano da essa.

L'altra funzione molto importante che ha avuto questa raccolta è la definizione di una libreria di contaminazioni che, anche se al momento possono sembrare diverse da quelle riscontrate negli scarti o nei ritorni dal cliente, potranno essere utili nel futuro della linea, tenendo però sempre in considerazione il fatto che la contaminazione è un fenomeno che può mutare anche molto velocemente nel tempo.

## Capitolo 6- Root Causes

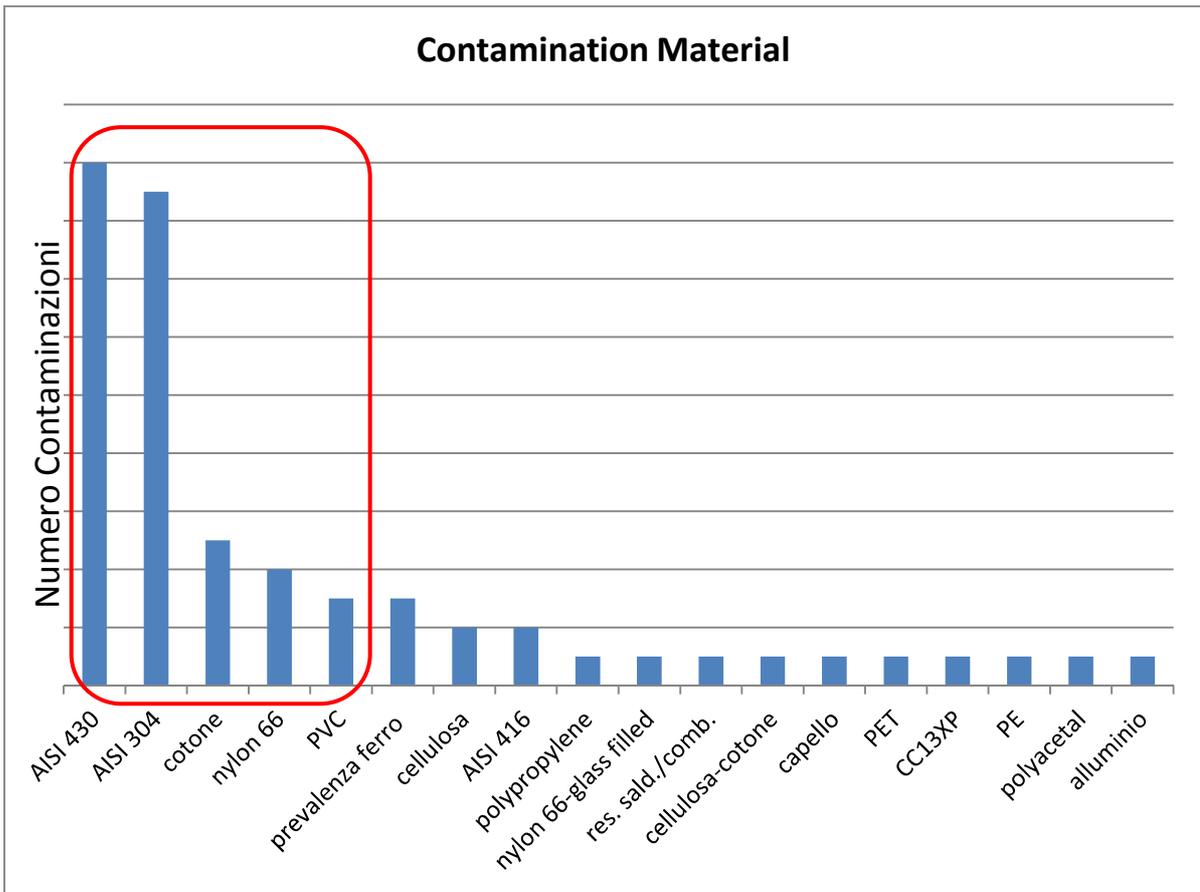
In questo capitolo sono state descritte le cause relative alla presenza di contaminazione negli iniettori prodotti sulla linea automatica XL3, che sono state identificate durante il corso di questo lavoro di tesi. Alcune di esse sono state aggredite e risolte, altre sono state identificate ed è stato organizzato un piano di azione che però deve ancora essere messo in pratica dati vincoli di tempo e di risorse; altre sono solo state ipotizzate e sono stati forniti dati a supporto ma non sono ancora state definite azioni correttive.

L'approccio è stato quello di dividere le varie contaminazioni per materiale, avendo così la possibilità di ricondurre le contaminazioni ad un numero limitato di componenti e/o materiali presenti in Clean Room, dopodiché si è cercato di considerare tutte le possibili cause/problematiche/non conformità che possono aver generato la particella contaminante.

Una prima netta distinzione per la classificazione della contaminazione ed una ricerca delle relative cause è stata fatta differenziando le contaminazioni metalliche, cioè i metalli e le loro leghe, dalle contaminazioni non metalliche chiamate in questo caso organiche che comprendono tutte le restanti tipologie.

L'individuazione delle root causes è stata effettuata per le contaminazioni che caratterizzano le 2 metriche principali (scarti e ritorni cliente) cioè quelle che corrispondono al concretizzarsi di NON CONFORMITA' dando la priorità alle contaminazioni che sono risultate periodicamente più diffuse nelle analisi svolte nei sei mesi di progetto, e presentate nel capitolo precedente.

Nello specifico, la ricerca delle root causes è stata concentrata sulle tipologie di contaminazione settimanalmente più diffuse, cioè le contaminazioni che alla fine dei sei mesi di progetto corrispondono al 73.4% del totale (in sostanza sono state aggredite con azioni specifiche le 5 contaminazioni più diffuse) per quanto riguarda la contaminazione scarti mentre per la contaminazione ritorni cliente ci siamo concentrati sull'unica contaminazione diffusa (che rientra anche tra le contaminazioni più diffuse tra gli scarti). Le altre contaminazioni sono comunque state attaccate attraverso azioni generiche quali introduzioni di CIL (Cleanliness Inspection and Lubrification) ed altre azioni che saranno descritte nel capitolo 7.



**Figura 6.1 Pareto contaminazione scarti con cerchiare le 5 contaminazioni aggredite con azioni specifiche durante il progetto**

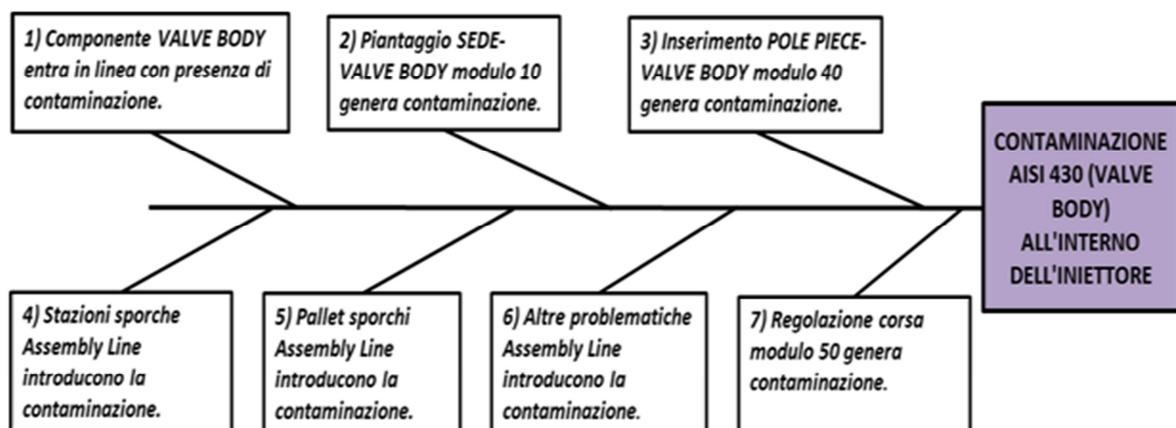
## 6.1-Contaminazioni metalliche

Come strumento di collegamento fra cause ed effetto è stato usato in questo caso il diagramma di Ishikawa, sono state indagate come possibili cause le problematiche/lavorazioni critiche storicamente più diffuse ed identificate attraverso un'azione di benchmarking con le altre linee (es: operazioni di piantaggio) cercando allo stesso tempo di non trascurare gli aspetti critici presenti in questa nuova linea/prodotto, cioè basando il tutto su evidenze oggettive (dati di fatto) raccolte sul campo.

L'obiettivo è stato quello di non trascurare nessuna ipotesi plausibile andando in seguito ad agire su più fronti, le cause presenti nel diagramma saranno di seguito descritte e nel caso sia necessario saranno a loro volta divise in sotto-cause più dettagliate, usando strumenti di problem solving come i 5WHY, portandole quindi ad un livello aggredibile.

Tramite i dati raccolti abbiamo quindi cercato di avvalorare determinate cause rispetto ad altre fornendo una priorità di intervento anche all'interno delle possibili cause dello stesso tipo di contaminazione; questo ordine di priorità ha risentito anche delle risorse e delle tempistiche necessarie all'intervento sulla specifica causa, questo ambito sarà approfondito nel capitolo 7.

Segue la strutturazione delle possibili macro-cause di generazione della contaminazione corrispondenti al materiale del componente Valve Body cioè una delle contaminazioni più diffuse, successivamente scomposte fino ad arrivare ad un livello aggredibile:



**Figura 6.2-Sintesi Diagramma di Ishikawa contaminazione AISI 430**

**1)** Come è stato descritto nel capitolo precedente all'interno del componente Valve Body in ingresso alla linea è stata riscontrata la presenza di contaminazione metallica di materiale coincidente con il Valve Body stesso. Queste "bave" aderenti alle pareti interne del componente plausibilmente si formano in seguito alle operazioni di tornitura svolte dal reparto componenti, "bave" che le varie operazioni di lavaggio svolte non riescono a distaccare ed eliminare mentre durante le operazioni di assemblaggio può avvenire il loro distacco. Nonostante un controllo visivo con microscopio ottico 5x, a causa della loro posizione interna al componente sono difficilmente identificabili e possono talvolta sfuggire ai controlli. Inoltre la morfologia delle bave riscontrate all'interno dei componenti in questione risulta molto simile a quella ritrovata all'interno degli scarti, è necessario quindi attuare delle azioni che permettano di risolvere questa problematica particolarmente critica.

**2)** Il piantaggio di un componente su un altro è tradizionalmente fonte di contaminazione, questa problematica è di solito limitata tramite opportuna lubrificazione; in questo caso si parla di piantaggio sede-valve body ed è effettuato senza alcuna lubrificazione, la presenza di oli lubrificanti non permetterebbe infatti di svolgere in modo conforme la successiva operazione di saldatura tra i due componenti. L'utilizzo delle "trappole" descritte nel capitolo precedente ha permesso la raccolta delle bave di piantaggio generate nella stazione in questione del modulo 10; l'analisi di queste contaminazioni ha mostrato una certa differenza morfologica con le contaminazioni riscontrate negli scarti facendoci orientare verso la causa relativa al punto 1. Nonostante queste considerazioni la presenza di contaminazione sulla linea non è accettabile, unita al fatto che non siamo certi che queste bave di piantaggio non possano finire all'interno degli iniettori prodotti; è necessario assicurare che la stazione "lavori" nel modo migliore possibile, per questo anche questa fonte di contaminazioni dovrà essere discussa ed affrontata.

**3)** La presenza all'interno dei filtri di piccole contaminazioni relative al materiale di cui è costituito il Pole Piece, anche se questa tipologia di contaminazione solo una volta è stata rinvenuta all'interno degli scarti, ci ha spinto a considerare le operazioni che coinvolgono unitamente Pole Piece e Valve Body per una possibile generazione di contaminazione proveniente da materiale asportato al VB dal contatto con il PP, prima

del modulo M60 di inserimento filtro. Una delle operazioni ritenute critiche è quindi l'inserimento del PP all'interno del VB, svolta all'interno del modulo 40, che se non svolta in maniera corretta potrebbe causare un'asportazione del materiale del VB ed anche una generazione di contaminazione proveniente dal materiale del PP (quelle piccole contaminazioni che vengono ritrovate nei filtri). E' necessario quindi verificare l'effettiva presenza di tale problema e nel caso agire per risolverlo.

**4)** Materiali contaminati accumulati durante le varie operazioni di assemblaggio, a cui componenti e sub-assembly sono sottoposti durante il loro passaggio in linea, possono causare un riversamento/inserimento casuale di questa contaminazione all'interno degli stessi. E' fondamentale quindi che anche l'inevitabile presenza di particelle contaminanti in linea sia continuamente contrastata in modo da non correre il rischio che esse finiscano in qualche modo all'interno dell'iniettore, ciò significa avere dei moduli il più possibile puliti; questa problematica non riguarda esclusivamente il materiale contaminante appartenente al Valve Body ma bensì tutte le possibili tipologie di contaminati presenti in linea, ed anche in questo caso all'interno del capitolo 7 sarà descritto come aggredire tale problematica.

**5)** Vale in questo caso lo stesso discorso fatto al punto 4, qui però non si parla della pulizia dei moduli/stazioni della linea bensì degli agenti contaminanti che possono accumularsi sui pallet e da questi finire in qualche modo all'interno dell'iniettore sempre durante le operazioni di assemblaggio. I pallet su cui i sub-assembly proseguono il loro cammino all'interno della linea sono di fatto uno strumento fondamentale per questo tipo produzione ed essi sono legati ad un profondo studio in relazione alle loro forme e dimensioni che permettano tutte le varie operazioni e supportino il sotto-assemblato durante tutte le sue configurazioni; in seguito sarà descritto come il problema della pulizia dei pallet è stato aggredito.

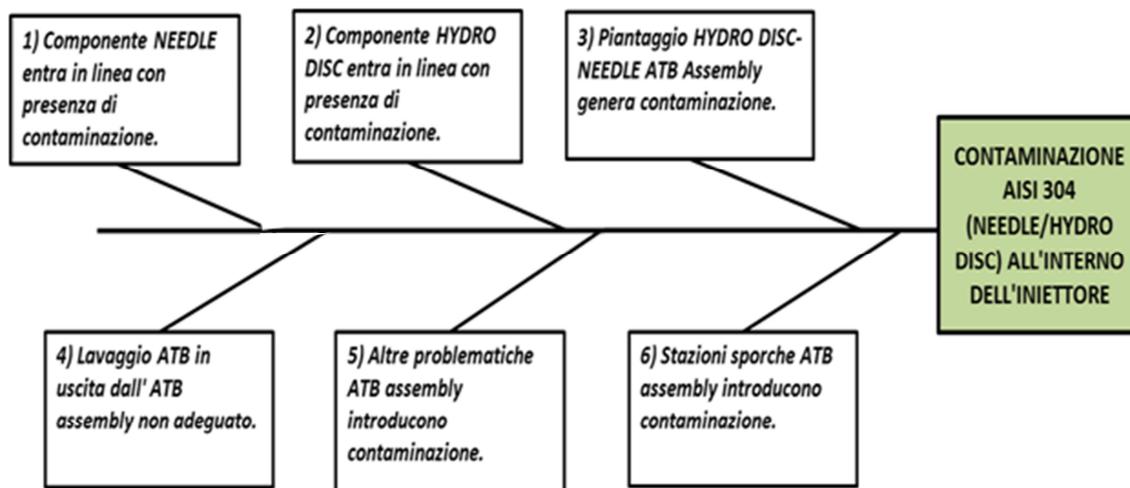
**6)** E' stato deciso di introdurre tra le cause di contaminazione una macro causa che raccoglie tutte le possibili problematiche che possono insorgere a livello di linea di assemblaggio. E' infatti possibile che la degenerazione di un qualsiasi modulo/stazione all'interno della linea ed in questo caso prima del modulo 60 possa generare in qualche modo una contaminazione derivante dal materiale del VB; non potendo prevedere o

ipotizzare tutte le possibili anomalie che possono portare alla generazione della contaminazione in questione è necessario allestire un insieme di azioni correttive/preventive sulla linea, azioni che verranno descritte ed approfondite nel capitolo 7.

**7)** Per le stesse motivazioni relative all'individuazione della causa descritta al punto 3, è stata identificata la possibile problematica relativa alla regolazione corsa dell'ATB effettuata tramite una pressione del Pole Piece all'interno del Valve Body. Anche in questo caso l'utilizzo di trappole per raccogliere la contaminazione nella zona in cui si effettua tale operazione può essere utile al fine di effettuare un match tra le varie contaminazioni. Nel prossimo capitolo è descritto come questa ipotesi è stata valutata ed affrontata.

E' necessario sottolineare che la contaminazione generata durante le varie operazioni di assemblaggio, alcune delle quali sopra descritte, potrebbe anche rimanere all'interno del sub-assembly senza finire necessariamente nelle trappole posizionate sulla stazione e quindi senza fornirci indicazioni utili, in questo caso troviamo direttamente la contaminazione nello scarto finale, ma non abbiamo idea dove essa può essere stata generata. Questo può avvenire in operazioni di assemblaggio in cui la formazione di eventuale contaminazione non ha la possibilità di "riversarsi sulla linea" a causa della configurazione del sub-assembly o a causa della posizione dello stesso durante tali operazioni; lo studio della contaminazione negli iniettori è infatti un argomento molto complesso data la molteplicità di cause e fattori da cui essa può derivare.

Vediamo adesso le possibili macro-cause riconducibili alla generazione di contaminazione relativa al materiale del Needle e dell'Hydro Disc (entrambi i componenti danno luogo al sub-assembly ATB che entra in linea come singolo componente) , successivamente scomposte fino ad arrivare ad un livello aggredibile:



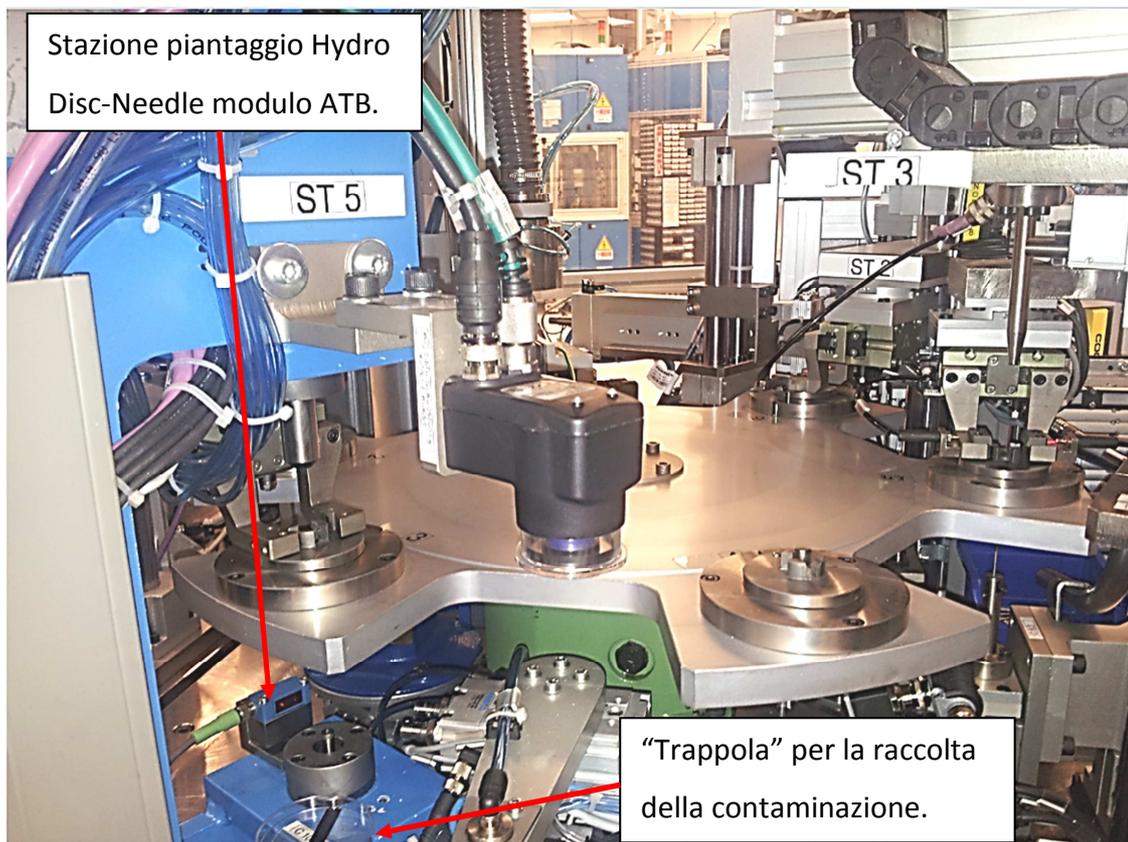
**Figura 6.3-Sintesi Diagramma di Ishikawa contaminazione AISI 304**

**1)** Come è stato descritto nel capitolo precedente, all'interno del componente Needle in ingresso al modulo di assemblaggio ATB è stata riscontrata la presenza di contaminazione metallica di materiale coincidente con il Needle stesso. Queste "bave" aderenti al foro cieco del componente si formano plausibilmente in seguito alle operazioni di foratura del foro cieco stesso svolte dal fornitore, "bave" che le varie operazioni di lavaggio svolte non riescono a distaccare ed eliminare mentre durante il passaggio di fluido ad alta pressione può avvenire il loro distacco. Nonostante un controllo visivo con microscopio ottico 5x a causa della loro posizione interna al componente sono difficilmente identificabili e quindi possono sfuggire ai controlli; è necessario quindi attuare delle azioni che permettano di risolvere questa problematica particolarmente critica.

**2)** E' evidente dalle analisi illustrate nel capitolo precedente che anche sul componente Hydro Disc in ingresso al modulo di assemblaggio ATB è stata riscontrata la presenza di contaminazione metallica di materiale coincidente con l'Hydro Disc stesso. Queste contaminazioni, in particolare presenti sul diametro interno del componente in

questione, plausibilmente si formano in seguito alle operazioni di stampaggio del componente svolte dal fornitore, contaminazioni che le varie operazioni di lavaggio svolte non riescono a distaccare ed eliminare mentre durante il passaggio di fluido ad alta pressione può avvenire il loro distacco. Questo componente non viene analizzato visivamente e quindi la presenza di tale problematica non può essere in questo modo riscontrata; è necessario quindi attuare delle azioni che permettano di risolvere questa problematica particolarmente critica.

**3)** Come detto in precedenza il piantaggio di un componente su un altro è tradizionalmente fonte di contaminazione, questa problematica è di solito limitata tramite opportuna lubrificazione; in questo caso si parla del piantaggio dell'Hydro Disc sul Needle, è stata quindi introdotta la lubrificazione ma non siamo confidenti nel fatto che tale azione possa eliminare la generazione di contaminazione. Uno studio di questa problematica ha infatti portato alla luce un problema molto più complesso: il piantaggio di un componente di materiale AISI 304 su un altro componente di materiale AISI 304 dà luogo ad un fenomeno di plasticizzazione localizzata, una sorta di saldatura, che unito agli alti carichi di piantaggio necessari, porta all'asportazione di materiale generando contaminazione, questo fenomeno è conosciuto come "Galling". Si tratta quindi di un problema più legato alla progettazione che alle modalità di piantaggio della macchina; si è deciso come nei casi visti precedentemente di utilizzare le "trappole" per la raccolta della contaminazione anche su questa stazione per verificare se fosse possibile raccogliere ed analizzare quelle contaminazioni così generate che però riescono a distaccarsi dal sotto-assemblato durante il piantaggio. Le contaminazioni relative a questa stazione oltre al fenomeno di Galling possono essere generate da un funzionamento non corretto della stazione che rappresenta quindi un'altra sotto-causa da non trascurare; per tutta questa serie di problematiche è necessario quindi intervenire in modo mirato per ridurre il più possibile la generazione di agenti contaminanti legati a questo materiale.



**Figura 6.4-Stazione 5 modulo ATB**

4) Tutte le cause di contaminazione presenti in questo diagramma si riversano unitamente sul componente ATB, il quale in uscita dal modulo e quindi prima dell'ingresso in linea subisce un'azione di lavaggio all'interno della Clean Room; un lavaggio il più efficace possibile sarebbe quindi un elemento fondamentale per aggredire la contaminazione visto che si ha la possibilità di andare a lavare un sub-assembly sul quale versano una molteplicità di problematiche e non un solo componente, possibilità che per esempio non si ha per quanto riguarda i sub-assembly generati sulla linea di assemblaggio (non è possibile estrarre il sotto-assemblato dalla linea, lavarlo, e poi reintrodurlo in linea). Questo è quindi un punto su cui è necessario riflettere e capire come poter agire per migliorare questo passaggio fondamentale tra modulo ATB e la linea di assemblaggio.

5) Anche qui come nel diagramma precedente è stato deciso di introdurre tra le cause di contaminazione una macro causa che raccoglie tutte le possibili problematiche che possono in questo caso insorgere all'interno del modulo di assemblaggio ATB. E'

infatti possibile che la degenerazione di una qualsiasi stazione (non solo quella critica di piantaggio) all'interno del modulo ATB possa generare in qualche modo una contaminazione derivante dal materiale del Needle/Hydro Disc; non potendo prevedere o ipotizzare tutte le possibili anomalie che possono portare alla generazione della contaminazione in questione è necessario allestire un insieme di azioni correttive/preventive sul modulo, azioni che verranno descritte ed approfondite nel capitolo 7.

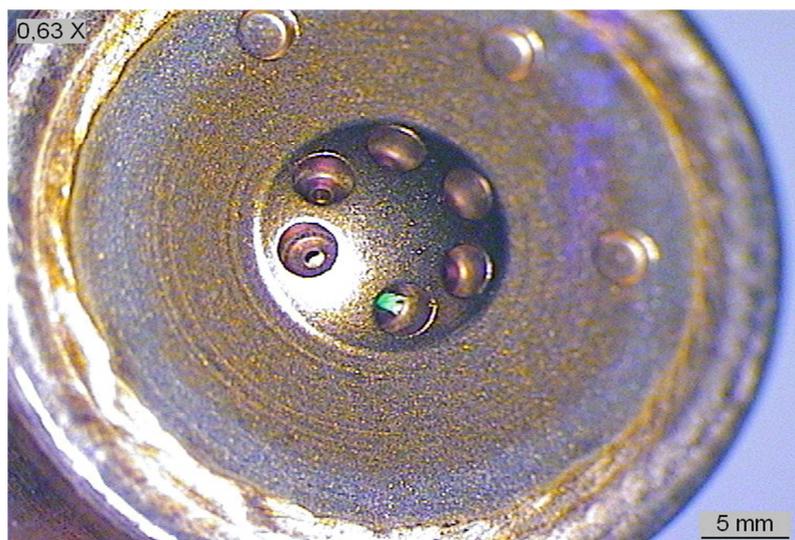
**6)** Anche all'interno del modulo di assemblaggio ATB una presenza di contaminazioni accumulate durante le varie operazioni di assemblaggio a cui componenti e sub-assembly sono sottoposti durante la loro "unione" in ATB, può causare un inserimento casuale di questa contaminazione sul sotto-assemblato stesso. E' fondamentale quindi che anche l'inevitabile presenza di particelle contaminanti nel modulo sia continuamente contrastata in modo da non correre il rischio che esse finiscano in qualche modo sul sub-assembly, ciò significa avere delle stazioni e delle strumentazioni al loro interno il più possibile pulite; questa problematica non riguarda esclusivamente il materiale contaminante appartenente al Needle/Hydro Disc ma bensì tutte le possibili tipologie di contaminati presenti nel modulo, ed anche in questo caso all'interno del capitolo 7 sarà descritto come aggredire tale problematica. In questo modulo non abbiamo pallet quindi il problema legato alla contaminazione presente su di essi è in questo caso scongiurato.

## 6.2-Contaminazioni organiche

Per quanto riguarda le contaminazioni organiche l'individuazione risulta in genere più facile, in questo caso la morfologia, il colore e una presenza più ristretta di cause ci permette di capire, tramite un'attenta osservazione dei materiali, degli oggetti e delle operazioni svolte in Clean Room, dove risiede la fonte e la causa della contaminazione, e quindi come poter agire per ridurla.

Di seguito sono mostrate le 3 principali fonti/cause di contaminazioni organiche individuate ed aggredite durante questo lavoro di tesi.

L'analisi degli scarti della Testline ha portato al ritrovamento di materiale riconducibile a PVC di colore verde all'interno degli iniettori, la fonte di contaminazione è stata riscontrata nel nastro adesivo verde utilizzato per delimitare le aree sopra i banchi presenti in Clean Room e si trova al quarto posto tra le contaminazioni più diffuse. Per accertarsi che si trattasse veramente di questo materiale è stato fatto un "match" tra le contaminazioni estratte ed il materiale del nastro in questione inviando una parte di quest'ultimo presso i laboratori di analisi.

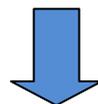
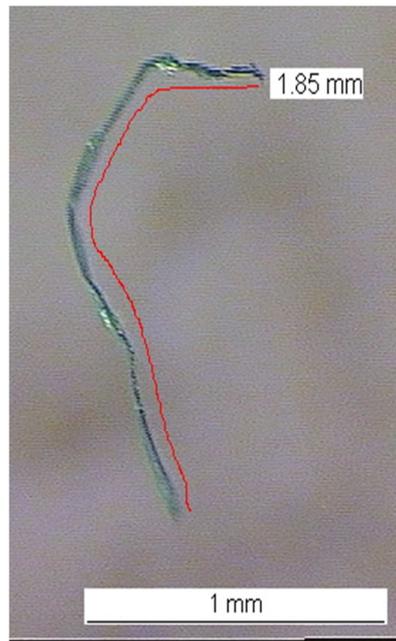


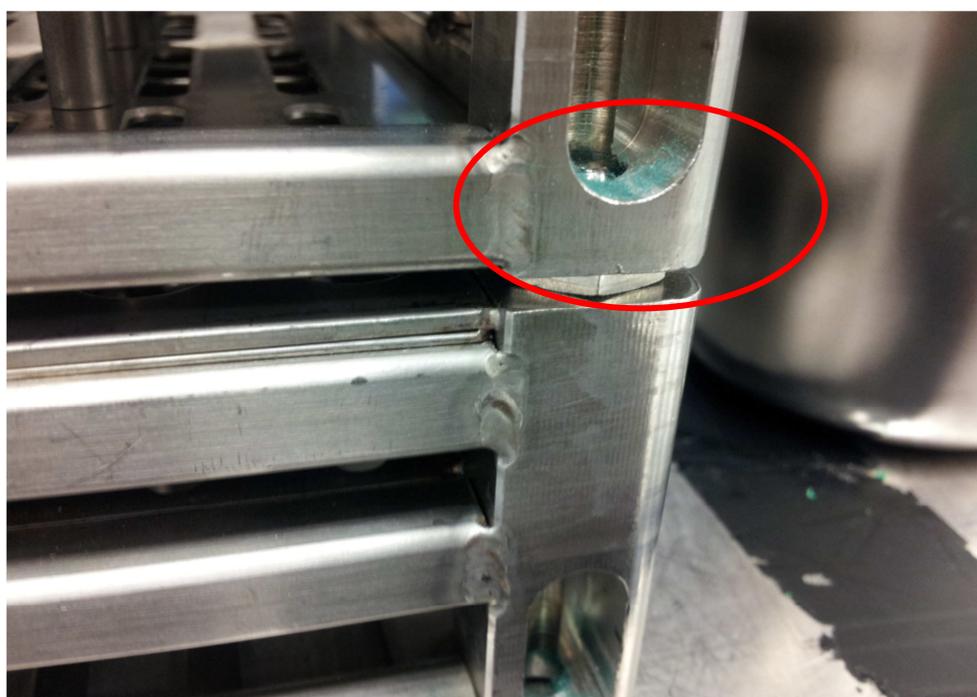
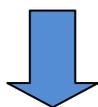
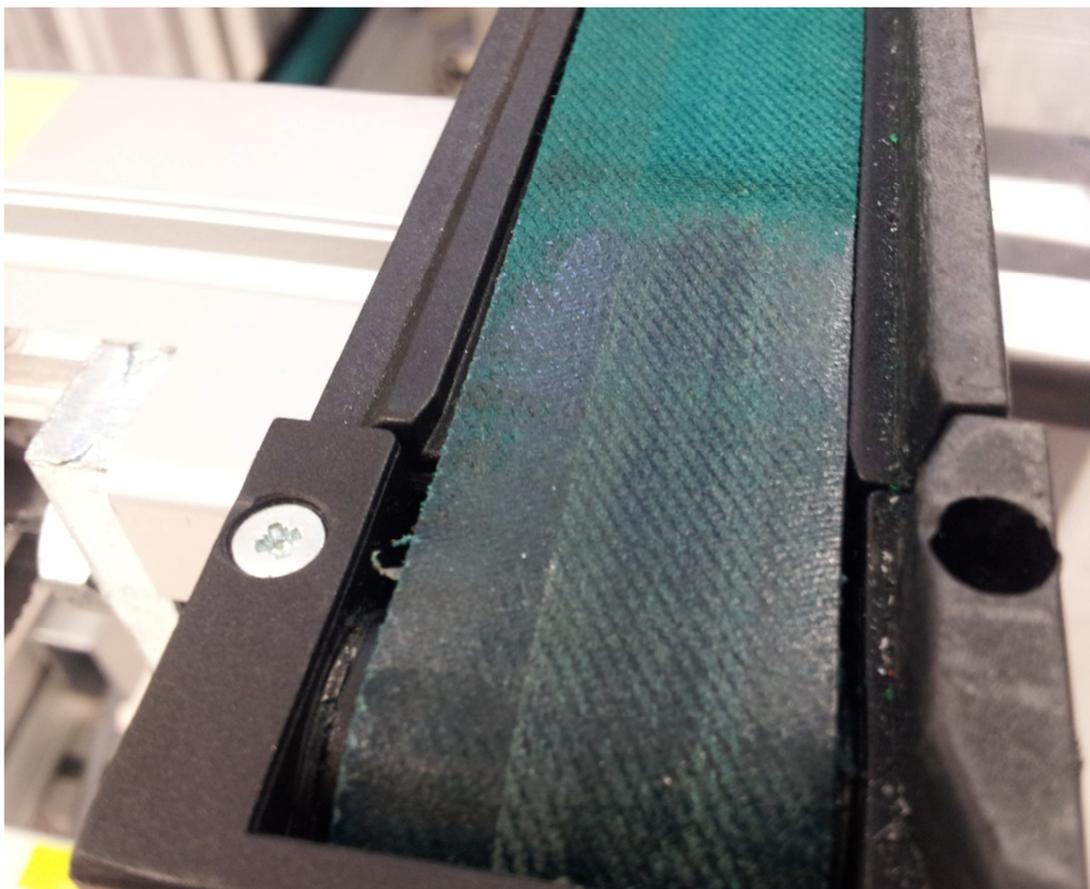


***Figura 6.5-Contaminazione derivante da nastro PVC banchi di lavoro***

Un'altra problematica rilevante che è stata individuata durante i sei mesi è legata al Nylon 66, in questo caso l'individuazione della causa è stata più complessa; si tratta della quinta contaminazione più diffusa. Il materiale contaminante deriva in questo caso dall'usura dei nastri trasportatori che introducono i tray sulla linea, i nastri continuando a ruotare

anche quando i tray arrivano a battuta si usurano generando contaminazione che depositandosi sui tray stessi può finire all'interno dei componenti e quindi degli iniettori.

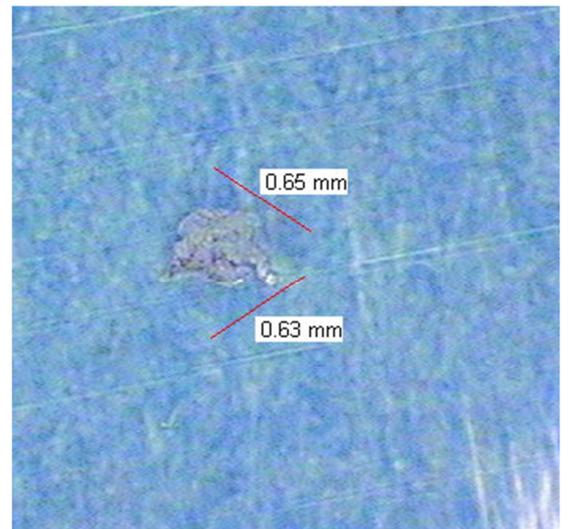
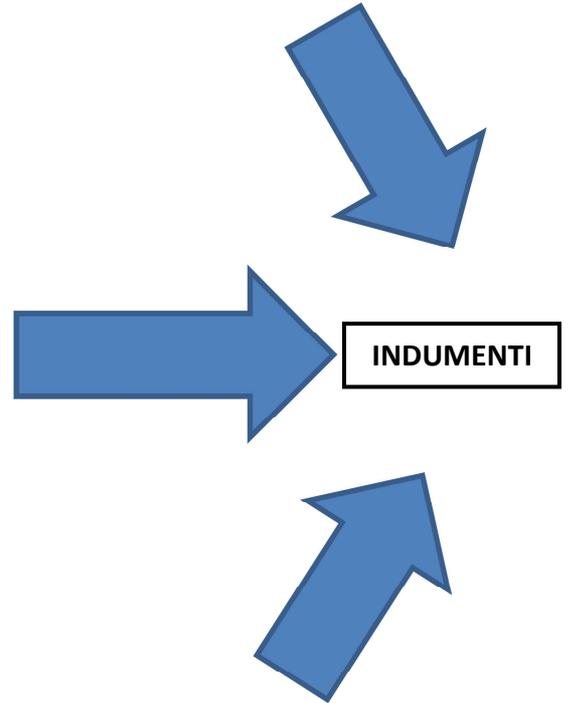
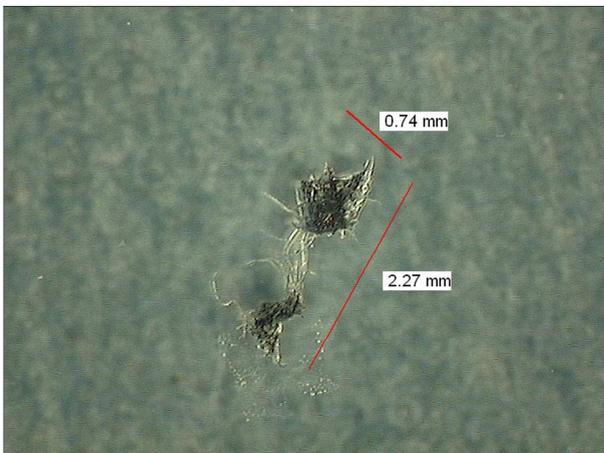
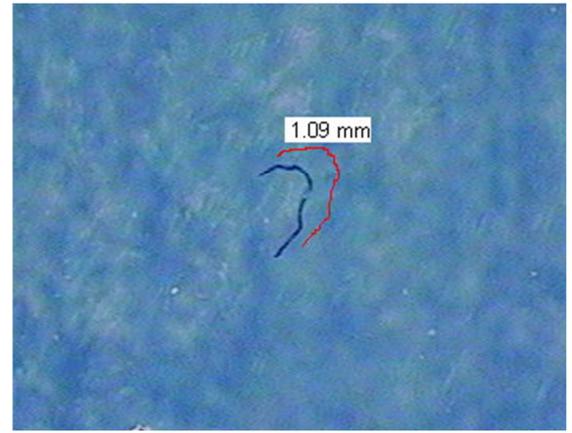
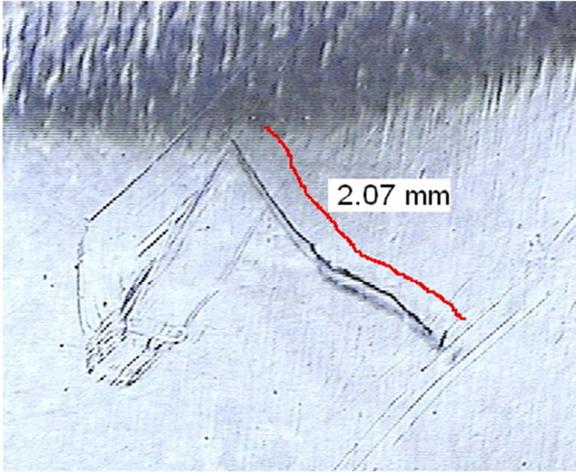




*Figura 6.6-Contaminazione derivante da nastro trasportatore tray in nylon 66*

Infine una problematica molto diffusa è legata al ritrovamento negli scarti analizzati di cotone-fibre maglia, si tratta infatti della terza tipologia di contaminazione più diffusa. Come evidenzia l'analisi delle contaminazioni si tratta di comune cotone che possiamo trovare sugli indumenti, e non sulle cappine indossate in Clean Room che sono invece composte di materiale sintetico. Non essendo presente in Clean Room nessun oggetto/strumento in cotone la causa è da ricondursi agli indumenti delle persone presenti al suo interno.

Come si può osservare dalle immagini sottostanti si tratta infatti di contaminazioni molto diverse l'una dall'altra nonostante siano tutte riconducibili a cotone, si pensa dunque che siano riconducibili alle differenti tipologie di indumenti indossati dal personale sotto le cappine che nonostante la presenza di quest'ultime riesce a contaminare i componenti a causa di un inappropriato uso delle stesse (es. maniche cappine rimboccate con maniche maglia che fuoriescono, ecc.) o a causa di azioni non appropriate.



**Figura 6.7-Contaminazione materiale corrispondente a cotone**

## **Capitolo 7- Corrective Actions**

Sulla base sulle Root Causes descritte nel capitolo precedente è necessario pianificare ed attuare le opportune azioni per andare ad aggredire in modo concreto la contaminazione relativa alla produzione dell'iniettore XL3.

La definizione delle varie azioni necessita il coinvolgimento di differenti figure aziendali legate ai differenti ambiti di intervento; la riunione settimanale alla quale partecipano tali figure permette di definire le azioni da intraprendere ed identificare la responsabilità di tali azioni. L'aggiornamento avviene nella riunione della settimana successiva o durante le riunioni di produzione svolte tutte le mattine all'interno della clean room.

E' necessario sottolineare che mentre alcune azioni possono essere relativamente semplici ed immediate alcune azioni necessitano di lunghi tempi di implementazione e di notevoli risorse, dovendo fra l'altro vincere anche le diffidenze/ostruzioni di reparti con obiettivi contrastanti con la qualità di prodotto.

### **7.1 Le azioni intraprese**

Ad ogni root causes descritta nel capitolo 6 corrisponde una o più azioni correttive/contenitive, i numeri degli elenchi che seguono coincidono con le root cause a cui le azioni sono legate; a loro volta le azioni sono state numerate e rappresentate nella figura 7.1 tramite bandierine messe in relazione attraverso l'uso dello stesso colore con la contaminazione su cui esse vanno ad agire. La figura mostra l'andamento della contaminazione rinvenuta negli scarti nel tempo, cioè quella che rappresenta la metrica principale di questo progetto.

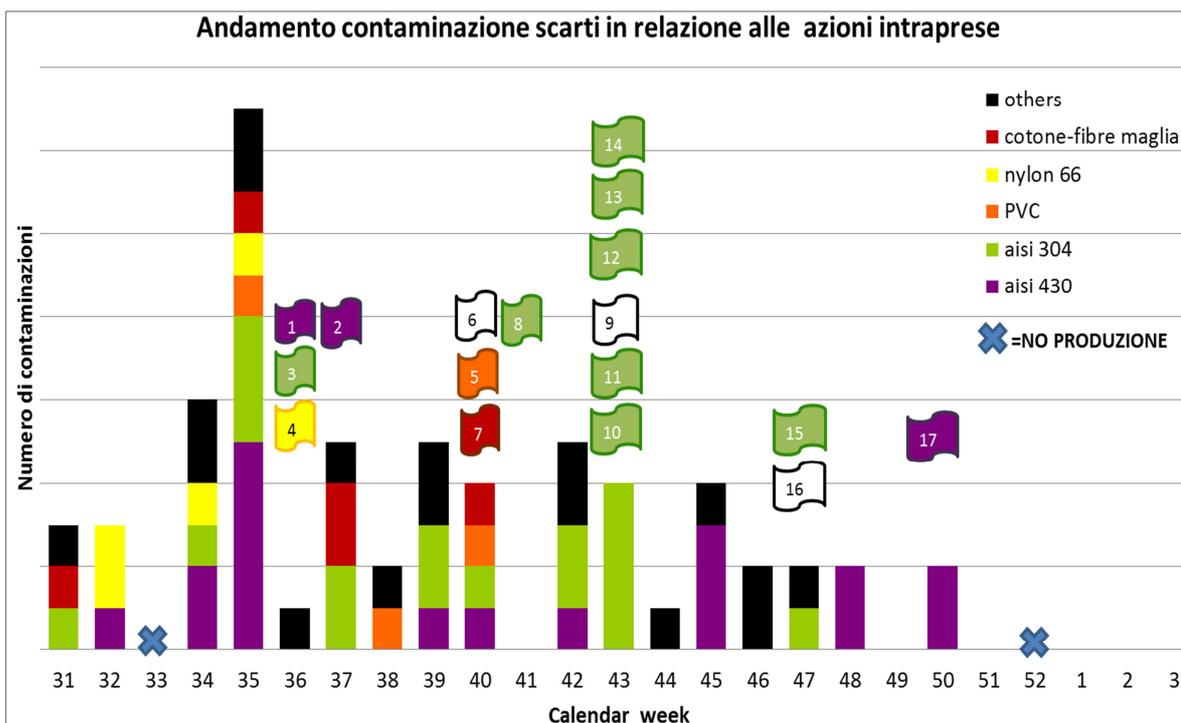


Figura 7.1-Contaminazioni scarti ed azioni intraprese

### 7.1.1 Contaminazione materiale Valve Body

In relazione a questa tipologie di contaminante coerentemente alle Root Causes indicate nel capitolo precedente sono state intraprese le seguenti azioni:

1) Dopo la definizione dell'opportuno processo ed in seguito alla sua validazione, alla calendar week 50 è stato introdotto da parte di un fornitore esterno l'attività di scivolatura manuale (tramite apposita spazzola) del diametro interno del Valve Body solo nella sua porzione più stretta.

In questo caso si tratta di un azione correttiva "parziale" a causa di un vincolo in termini di tempi e costi notevole a scapito di un'efficacia totale (**azione 17**); questo perché una scivolatura manuale di tutti i diametri interni del valve body comportava tempi più lunghi, più spazzole di diversi diametri ed operazioni più complesse.

Si tratta infatti di una soluzione provvisoria, il problema della contaminazione proveniente dalle bave presenti sul componente Valve Body è un dato di fatto di notevole rilevanza di questo progetto, sarà quindi implementato nel breve periodo (Aprile 2014) un macchinario interno al reparto componenti Continental (ricordiamo che il Valve Body è un componente prodotto internamente) che provvederà alla scivolatura automatica di tutti i

diametri interni del Valve Body con l'obiettivo di rimuovere tutte i residui di lavorazione presenti all'interno dei componenti.

**2)** Per migliorare il piantaggio Sede-Valve Body è stata fatta un'analisi della stazione M10 alla settimana 36 che ha evidenziato il perfetto allineamento della stessa (**azione 1**) inoltre i residui di contaminante dovuti a tale operazioni (ed in gran parte non evitabili) trovati in tale zona hanno confermato la diversità tra tale contaminazione e quella riscontrata negli iniettori; la manutenzione preventiva introdotta alla settimana 47 prevede inoltre per questa stazione a cura del tecnologo la verifica dello stato di usura della superficie del tooling di piantaggio, la verifica dell'allineamento pressa-pezzo ed il controllo visivo da parte del CP del sub-assemblato (10 pcs) per il rilascio (**azione 16**).

**3)** L'inserimento dell'ATB all'interno del corpo del Valve Body è stata inizialmente ipotizzata come un'operazione che poteva dar luogo a generazione di contaminazione proveniente dal VB stesso, ulteriori analisi hanno portato a scartare questa ipotesi che sarà comunque tenuta sotto osservazione nel proseguo del progetto; l'introduzione della manutenzione preventiva che prevede per questa stazione (M40) in particolare la verifica dello stato di usura del tooling di piantaggio e la verifica allineamento pressa rispetto al pezzo a cura del tecnologo con verifica parametri rispetto alle condition setting indicate a bordo macchina e controllo visivo del sub assemblato (10 pcs) da parte del CP a partire da CW47 ci forniscono un continuo feed-back sullo stato della stazione (**azione 16**).

**4)** Un aspetto fondamentale della produzione di iniettori come è stato più volte ripetuto è la pulizia di tutti i luoghi di lavoro ed in particolar modo della linea dove i pezzi componenti vengono assemblati, un'azione fondamentale da questo punto di vista è l'introduzione di un opportuna CIL (Cleanliness Inspection Lubrification) creata appositamente per ogni singolo modulo della linea, questa azione è stata introdotta alla calendar week 43 (**azione 9**) e va ad incidere su tutte le tipologie di contaminati e non solo sull'agente considerato in questo contesto.

**5)** Simile alla tematica del punto precedente è la tematica relativa alla pulizia dei pallet sui quali componenti e sub-assembly sono trasportati all'interno della linea, l'azione che va ad incidere su questa problematica è stata implementata alla settimana 40

e consiste in un lavaggio settimanale dei pallet mediante le procedure acquisite tramite benchmarking interno con le altre linee di produzione **(azione 6)**.

**6)** Tutti gli eventuali problemi legati al settaggio ed al funzionamento dei vari moduli presenti sulla linea possono essere contrastati attraverso un'opportuna manutenzione preventiva progettata e customizzata per ogni stazione presente sulla linea **(azione 16)**, tale azione è stata implementata alla settimana 47 e va ad incidere su gran parte delle contaminazioni presenti sulla linea.

**7)** Come al punto 2 anche in questo caso siamo di fronte ad un'azione di piantaggio, in questo caso Pole Piece-Valve Body, alla settimana 37 è stata svolta l'analisi della stazione M50 per assicurare il suo corretto funzionamento anche qui con esito negativo **(azione 2)**; nella manutenzione preventiva introdotta alla settimana 47 sono state comunque inserite le attività di verifica dello stato di usura del tooling di piantaggio e di verifica allineamento pressa rispetto al pezzo a cura del tecnologo con rilascio qualitativo da parte del CP.

### **7.1.2 Contaminazione materiale Needle-Hydro Disc**

**1)** Alla calendar week 36 è stato introdotto un processo di selezione Needle 100% presso un fornitore mediante fibra ottica e luce per individuare eventuale contaminazione interna al componente, che con un microscopio ottico sarebbe di difficile individuazione **(azione 3)**. Inoltre per combattere la presenza di tali bave all'origine è stata introdotta dal fornitore una modifica al processo di foratura del componente, i componenti caratterizzati da questo differente processo di lavorazione hanno fatto il loro ingresso in clean room settimana 47 **(azione 15)**.

**2)** L'introduzione di un controllo con microscopio ottico 100% per il componente Hydro Disc da parte del fornitore è la principale azione introdotta per evitare che arrivino in clean room componenti di questa tipologia contaminati, questo data la facile individuazione tramite controllo visivo di problematiche legate alla contaminazione di questo componente **(azione 14)**.

**3)** Per migliorare il piantaggio Hydro Disc-Needle è stata fatta un'analisi della stazione 5 modulo ATB alla settimana 41 che ha evidenziato un allineamento non ottimale della stessa ed un conseguente allineamento **(azione 8)**. I residui di contaminante dovuti a tale problematica trovati in tale zona hanno evidenziato la diversità tra tale contaminazione e quella riscontrata negli iniettori; è plausibile che la contaminazione riscontrata negli iniettori sia relativa al fenomeno di Galling (per cui la bava di piantaggio rimane aderente al componente) descritto nel capitolo precedente e di difficile aggressione se non con modifiche di progetto. Di fatto sia per questa problematica che per altre problematiche non legate alla contaminazione nella versione successiva dell'iniettore il Needle è stato realizzato di un materiale differente dall'Hydro Disc, cioè lo stesso materiale con cui è realizzato il valve Body andando ad eliminare questa problematica. Su questa versione l'inserimento di un'opportuna lubrificazione per tutti i clienti introdotta alla CW 43 **(azione 10)** è l'unico intervento migliorativo attualmente identificato ed introdotto. La manutenzione preventiva sul modulo ATB introdotta alla settimana 43 prevede inoltre per questa stazione a cura del tecnologo la verifica allineamento pressa HDD ed il controllo visivo da parte del CP del sub-assemblato (10 pcs) per il rilascio.

**4)** Per migliorare lo stato di cleanliness dell'ATB prima dell'ingresso in linea è in corso un piano per modificare la metodologia di lavaggio di questo componente, l'intenzione è quella di lavarlo in Tray piuttosto che lavarlo in Bulk come succede attualmente, tale spostamento è però vincolato alle capacità del sistema di lavaggio e fino a quando queste capacità non risulteranno compatibili con tale azione essa non potrà essere messa in atto; si sta attualmente lavorando per rendere possibile questo miglioramento.

**5)** Un'altra azione svolta sul modulo ATB per migliorare il suo funzionamento, in relazione alla generazione di questa contaminazione, si è concretizzata nella rilavorazione tool misurazione gap alla calendar week 43 **(azione 13)**. Tutti gli eventuali problemi legati al settaggio ed al funzionamento delle varie stazioni presenti nel modulo possono essere contrastati attraverso un'opportuna manutenzione preventiva progettata e customizzata per ogni stazione presente all'interno dello stesso, tale azione è stata implementata alla settimana 43 e va ad incidere su gran parte delle contaminazioni presenti all'interno del

modulo ATB (**azione 12**) e quindi non solo sulla tipologia presa in considerazione in questo punto.

**6)** Infine un aspetto fondamentale della produzione di iniettori come è stato più volte ripetuto è la pulizia di tutti i luoghi di lavoro ed in particolar modo della linea dove i pezzi componenti vengono assemblati. Un'azione fondamentale da questo punto di vista è l'introduzione di un'opportuna CIL (Cleanliness Inspection Lubrification) creata appositamente per il modulo ATB, un modulo esterno alla linea ma che si occupa dell'assemblaggio di un sub-assy in ingresso alla linea stessa; questa azione è stata introdotta alla calendar week 43 e va ad incidere su tutte le tipologie di contaminati e non solo sull'agente considerato in questo contesto (**azione 11**).

### **7.1.3 Contaminazione organica**

#### **✓ COTONE**

Oltre ad un'azione di sensibilizzazione degli operatori presenti in clean room, ricordando l'obbligo di tenere le maniche delle cappine abbottonate senza far fuoriuscire da esse nessun tipo di indumento e l'obbligo di tenere il colletto abbottonato senza far fuoriuscire o porre sopra di esso indumenti quali sciarpe, ecc. è stato deciso di introdurre in linea uno sbrogliatore molle automatico.

Questa azione (**azione 7**) effettuata alla CW 40 che sembra non riguardare affatto questa problematica è invece strettamente legata al problema della presenza di cotone all'interno della linea; precedentemente all'introduzione dello sbrogliatore automatico gli operatori erano infatti costretti a sbrogliare manualmente le molle all'interno del Bowl Feeder. Anche se tale operazione veniva svolta con gli appositi guanti, la probabilità che durante tale operazione l'operatore potesse introdurre contaminazione derivante dai suoi indumenti era molto elevata.



***Figura 7.2-Cappine personale Clean Room XL3***

✓ **PVC**

La presenza di PVC sui banchi di lavoro della clean room di nastri in PVC, in seguito all'individuazione di questa problematica, è stata completamente eliminata (**azione 5**) alla settimana 40.



**Figura 7.3 -Banchi di lavoro con assenza di alcun tipo di nastro PVC**

✓ **NYLON 66**

I nastri trasportatori dei Tray presenti sui moduli della linea di assemblaggio consumandosi davano luogo a contaminazione riconducibile a Nylon 66, non avendo la possibilità di cambiare questi nastri nel breve periodo, è stata comunque individuata una soluzione a tale problematica. E' stato infatti notato che la causa della generazione di tale contaminazione è la rotazione continua del nastro quando il tray è già arrivato a battuta e quindi l'usura del nastro stesso causata dallo scivolamento dello stesso sotto il tray fermo. L'utilizzo di un sensore di posizione che individua quando il Tray è arrivato a battuta permette ora di stoppare immediatamente la rotazione del nastro (**azione 4**) evitando esso si usuri e generi contaminazione.



***Figura 7.4 -Nastro trasportatore tray moduli Assembly Line***

## Capitolo 8-Definizione processo di monitoraggio cleanliness componenti

In relazione al progetto “Total Clean Injector” sorge la necessità di fornire all’area di produzione un metodo di validità generale che potrà permettere un monitoraggio della contaminazione sui componenti in ingresso alla linea, direttamente in Clean Room e con un riscontro in tempo reale, permettendo l’immediata attuazione di un piano di reazione.

Le analisi di cleanliness dei componenti, per quanto riguarda la linea di assemblaggio XL3, vengono attualmente svolte con il supporto del laboratorio di San Piero a Grado tramite metodo Sure Shot descritto all’interno del capitolo 3, tale processo essendo svolto in un altro stabilimento non fornisce risposte immediate e non è conciliabile con le esigenze produttive della linea. Per tale ragione si è deciso di sfruttare un macchinario presente all’interno dello stabilimento di Fauglia, uno strumento che permette una rapida analisi della cleanliness dei componenti e può essere utilizzato direttamente dagli operatori del controllo produzione.



*Figura 8.1-Macchina Surfex*

## **8.1 Analisi al Surfex**

Il macchinario di cui stiamo parlando è il Surfex, si tratta di uno strumento che permette di quantificare il numero di particelle presenti sui componenti; essi vengono immersi in un bagno di acqua demineralizzata e sottoposti per un certo arco di tempo ad ultrasuoni, con la presenza all'interno del fluido di un agitatore che ha il compito di tenere le particelle in sospensione.

Il Surfex prima di ogni analisi, cioè prima dell'inserimento dei componenti da analizzare, porta il livello pulizia dell'acqua sotto un certo limite fissato sottoponendo il supporto su cui verranno caricati i pezzi ad ultrasuoni e facendo circolare l'acqua attraverso i suoi filtri (fase di "clean").

Raggiunto il limite di pulizia fissato lo strumento si arresta e chiede conferma per iniziare la fase di analisi, dopodiché inizia a sottoporre i componenti posti sull'apposito supporto ed immersi nel fluido ad ultrasuono per un tempo fissato in base alle validazioni che vedremo in seguito.

La macchina esegue quindi un certo numero di campionamenti del fluido e per ogni campionamento misura le particelle secondo i range dimensionali definiti nella "ricetta" fornita come input, in output fornisce quindi la media matematica di questi campionamenti per ogni range indicandoci quindi la concentrazione teorica di particelle presenti.

### **8.1.1 Costruzione delle "ricette" e validazione del metodo di estrazione**

Il primo passo è quello di definire per i componenti che vogliamo analizzare delle "ricette" da fornire in input al macchinario che permettano:

- 1) Una corretta estrazione ed analisi della contaminazione dal componente;
- 2) Un tempo di analisi che si concili con la capacità disponibile del macchinario ed i tempi a disposizione del controllo produzione.

Come prima cosa sono stati definiti i componenti da monitorare con questo processo in relazione alla loro priorità, si è deciso quindi di analizzare con una certa frequenza (definita in seguito) i componenti che entrano in linea e vengono assemblati prima

dell'inserimento del filtro, che come detto nei capitoli precedenti rappresenta una barriera per la contaminazione proveniente dall'esterno e ci assicura una protezione della parte più delicata dell'iniettore.

Sono state quindi definite e validate le ricette per i seguenti componenti:

- Valve Body
- Seat
- Pole Piece
- Armature Tube Ball (ATB)
- Calibration Spring
- Antibounce Spring

Per quanto riguarda il numero di componenti da utilizzare per ogni singola analisi e la conoscenza della loro area bagnabile si è ricorso ad informazioni fornite dal laboratorio di San Piero a Grado, utilizzando quindi in accordo con i tecnici del laboratorio lo stesso numero di componenti utilizzati per le analisi Sure Shot:

- 2 Valve Body (area bagnabile 34,6 cm<sup>2</sup> per unità)
- 5 Seat (area bagnabile 1,7 cm<sup>2</sup> per unità)
- 2 Pole Piece (area bagnabile 10,1 cm<sup>2</sup> per unità)
- 3 ATB (area bagnabile 37,5 cm<sup>2</sup> per unità)
- 5 Calibration Spring (area bagnabile 1,7 cm<sup>2</sup> per unità)
- 3 Antibounce Spring (area bagnabile 2,7 cm<sup>2</sup> per unità)

Le ricette si fondano su alcune variabili fisse, definite con un'azione di benchmarking con le linee a bassa pressione dello stabilimento di Fauglia, cioè:

- Volume di acqua demineralizzata in cui sono immersi i componenti=600 ml;
- Numero di campionamenti svolti=4;
- Volume di fluido estratto per ogni campionamento=10 ml;
- La potenza dell'ultrasuono=500 Watt;
- La frequenza dell'ultrasuono=40 Hz;
- DC light=7.35;
- Stato del laser=1(attivo);
- Velocità di riempimento=20 ml/sec;

Le variabili che sono state variate, oltre al numero di componenti utilizzati per ogni singola analisi e oltre all'area bagnabile, sono:

- I range dimensionali delle classi di particelle da conteggiare: sono stati definiti nelle ricette i range dimensionali presenti nella specifica di cleanliness dei componenti XL3 utilizzata per le analisi con metodo Sure Shot del laboratorio ovvero 5-15 micron, 15-25 micron, 25-50 micron, 50-100 micron e >100 micron.
- Livello iniziale di pulizia del fluido (blank level): dopo diverse prove empiriche è stato scelto il più basso limite che la macchina riusciva a raggiungere in queste condizioni per tutti i componenti, cioè 30 particelle da 5 micron per 10 ml; quando la fase di "clean" riesce a portare la pulizia dell'acqua sotto questo limite l'analisi può iniziare.
- Il tempo di ultrasuoni a cui vengono sottoposti i componenti analizzati: questo tempo varia tra i diversi componenti, esso è stato determinato attraverso le validazioni che seguono per assicurarsi che tali tempi siano sufficienti per estrarre in modo efficace le particelle contaminanti dai componenti cioè per validare il metodo di estrazione.

La procedura di estrazione innanzitutto deve essere scelta secondo le metodiche ISO 16232-2-3-4-5 "Road vehicles — Cleanliness of components of fluid circuit", e che in questo caso risulta essere la ISO 16232-4, Road vehicles — Cleanliness of components of fluid circuits — Part 4: Method of extraction of contaminants by ultrasonic techniques, e la variabile da utilizzare nella validazione è il tempo di ultrasuono a cui sottoporre i componenti.

La procedura si può ritenere efficace se il valore ottenuto è uguale:

$$Sn \leq \frac{10}{100} \sum_{i=1}^n Si$$

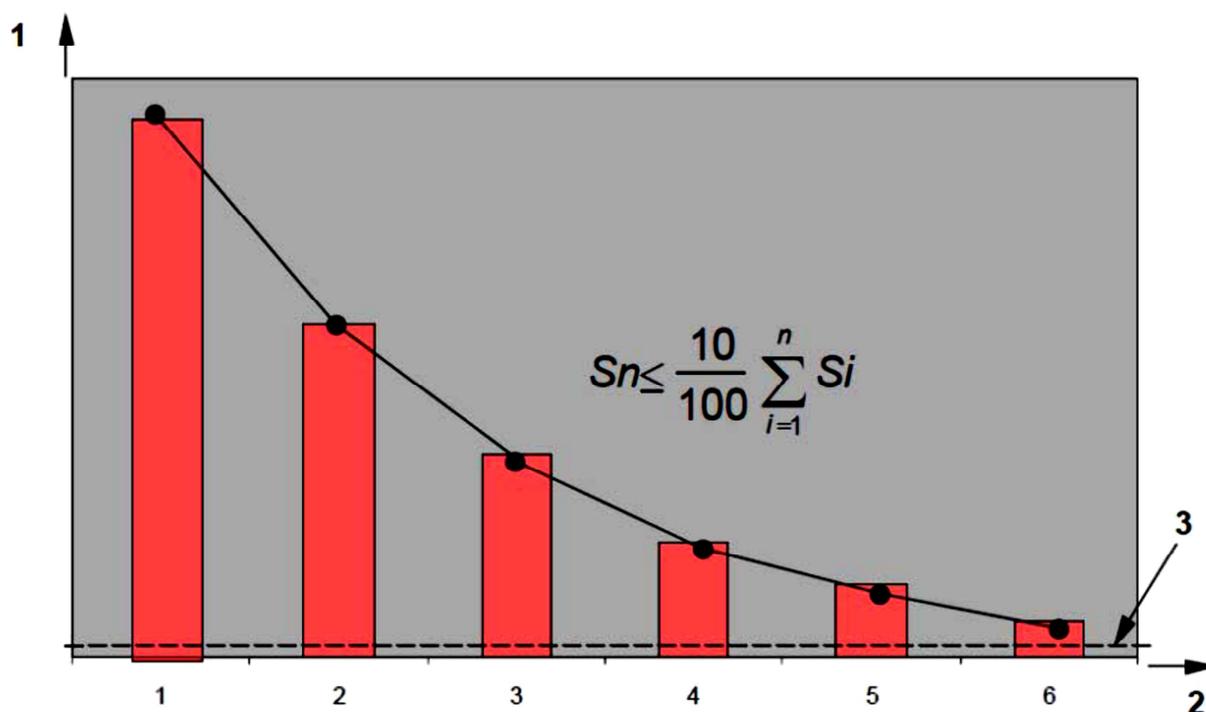
cioè quando il rapporto tra le particelle estratte all'n-esima estrazione (svolta sugli stessi componenti) e la somma delle particelle estratte nel totale delle estrazioni è minore o uguale a 0,1 arrivando ad un massimo di 6 estrazioni; si somma quindi il tempo di ultrasuono utilizzato nelle singole estrazioni ed otteniamo il tempo a cui sottoporre i componenti per avere una procedura efficace. Se non si riesce ad arrivare sotto questa soglia entro le 6 estrazioni è necessario aumentare il tempo delle singole estrazioni ed iniziare da capo.

La procedura si ritiene validata quando:

$$\frac{R2}{R2 + R1} \leq 0.3$$

cioè quando identificato il tempo di ultrasuono efficace, facendo il rapporto tra le particelle estratte nella seconda estrazione e la somma delle particelle estratte nella prima e nella seconda estrazione ottengo un numero minore o uguale a 0,3.

La “curva estrazione ideale” figura come segue:



**Figura 8.2-Curva di estrazione ideale**

**Legenda figura 8.x:** 1 cleanliness level of  $S_i$ , 2 extraction samples,  $I$ , 3 blank level.

Per le validazioni è stato utilizzato un tempo di ultrasuono base di 20 secondi, è importante anche sottolineare che ogni range dimensionale di particelle ha una curva di decadimento differente; seguono adesso i risultati finali delle prove svolte.

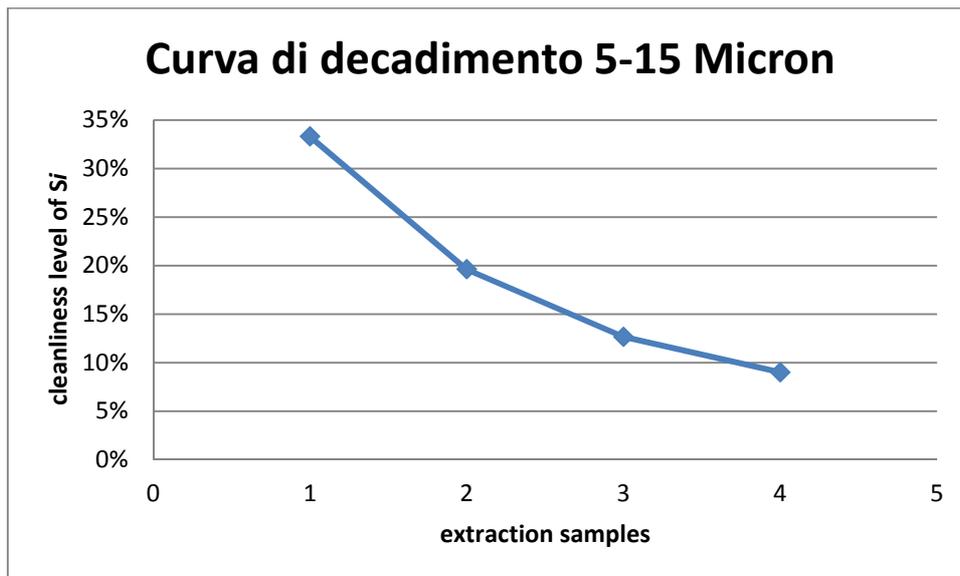
# Valve Body

## partita 101570262

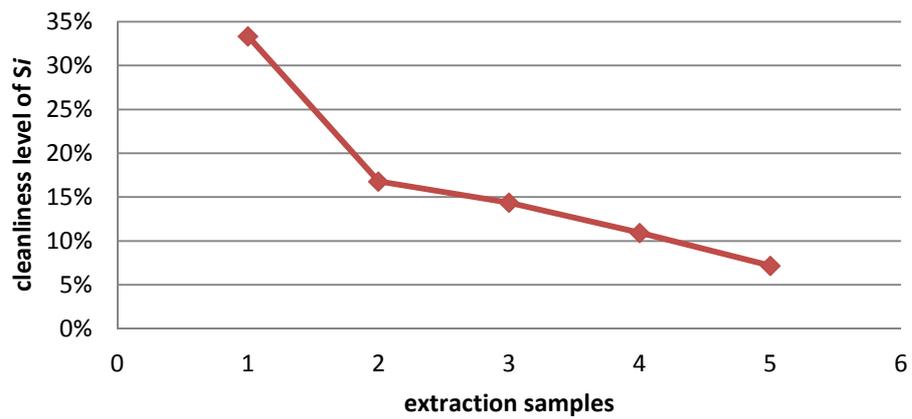
data 15/10/2013

	Ultrasonic Duration	Qtà Comp.	da 5 a 15	15-25	25-50	50-100	>100
1estrazione	20	2	4846,8	132	13,5	1,8	0,3
2estrazione	20	2	1613,5	44	5,3	1	0,3
3estrazione	20	2	1574,5	35,5	5,3	0,5	0,3
4estrazione	20	2	1163,3	35,5	6	0,5	0,3
5estrazione	20	2	909,3	30,3	6	0,5	0
6estrazione	20	2	809,8	21,5	2,3	0,3	0
<b>Settings</b>							
<b>Sn&lt;=10%</b>			33%	33%	39%	56%	100%
<b>Sn3</b>			20%	17%	22%	15%	33%
<b>Sn4</b>			13%	14%	20%	13%	25%
<b>Sn5</b>			9%	11%	17%	12%	0%
<b>Sn6</b>			7%	7%	6%	7%	0%

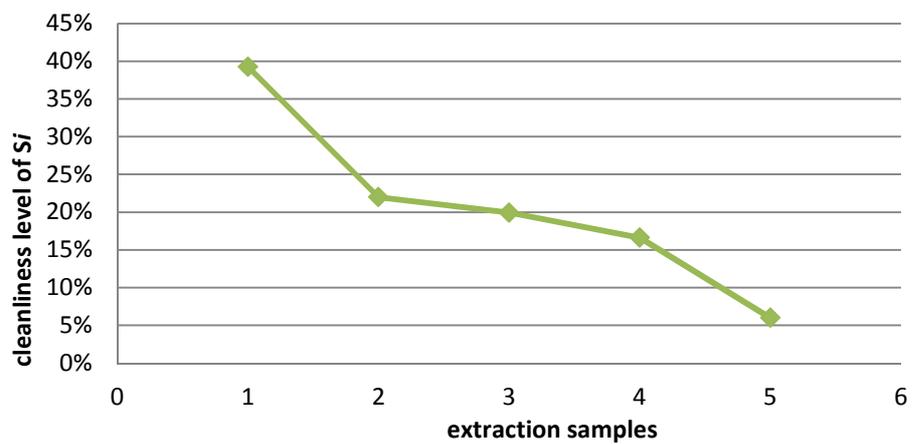
	Ultrasonic duration (sum)	Qtà Comp.	da 5 a 15	15-25	25-50	50-100	>100
R1	120	2	8649,5	128,5	18,5	1	0,3
R2	120	2	3451,5	54,5	6,5	0,3	0
<b>R2/(R1+R2)&lt;=0,3</b>			29%	30%	26%	23%	0%



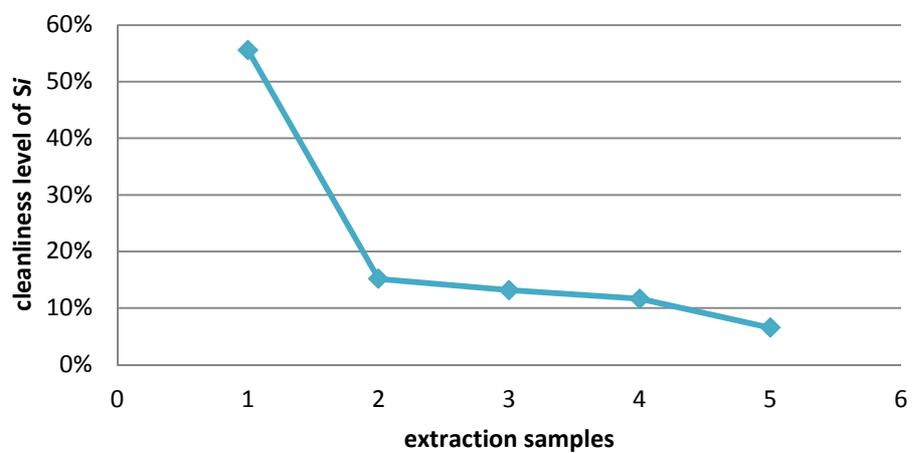
### Curva di decadimento 15-25 Micron

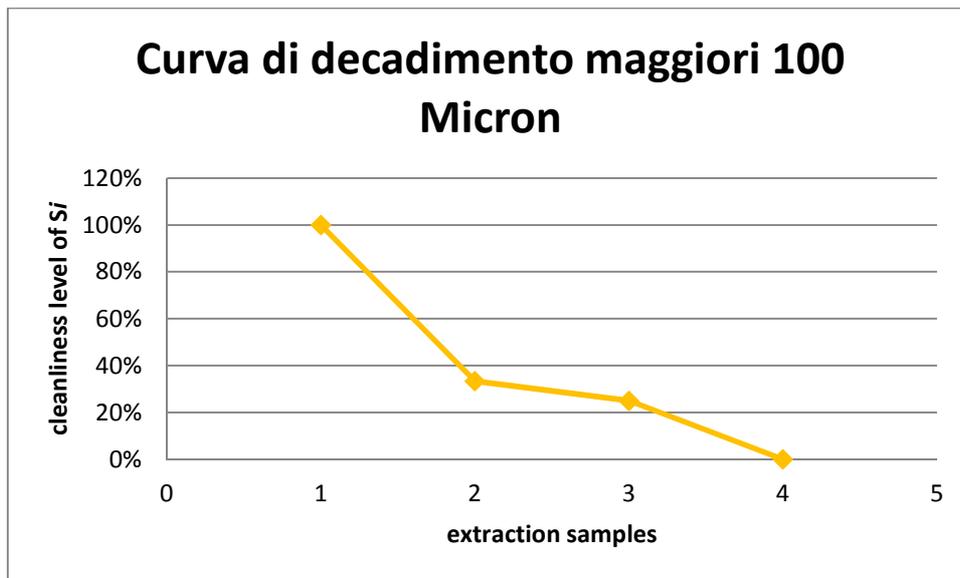


### Curva di decadimento 25-50 Micron



### Curva di decadimento 50-100 Micron



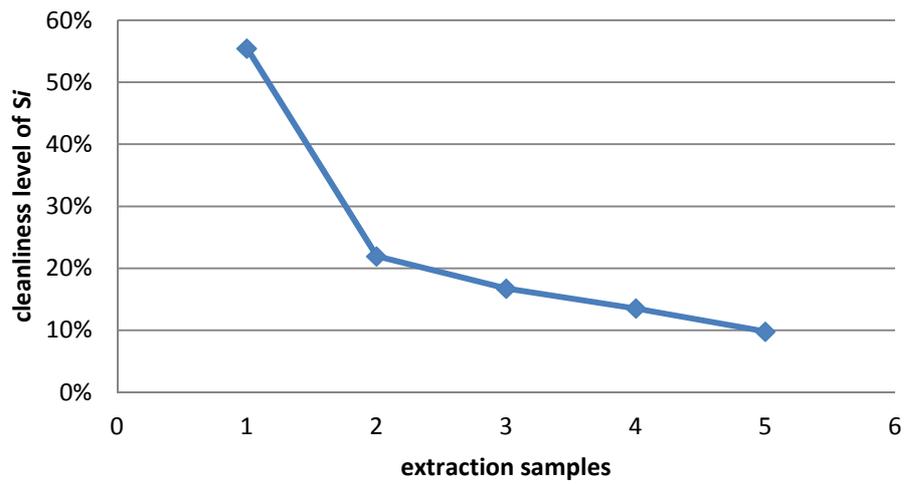


Seat data 17/10/2013  
partita 1220131017093355

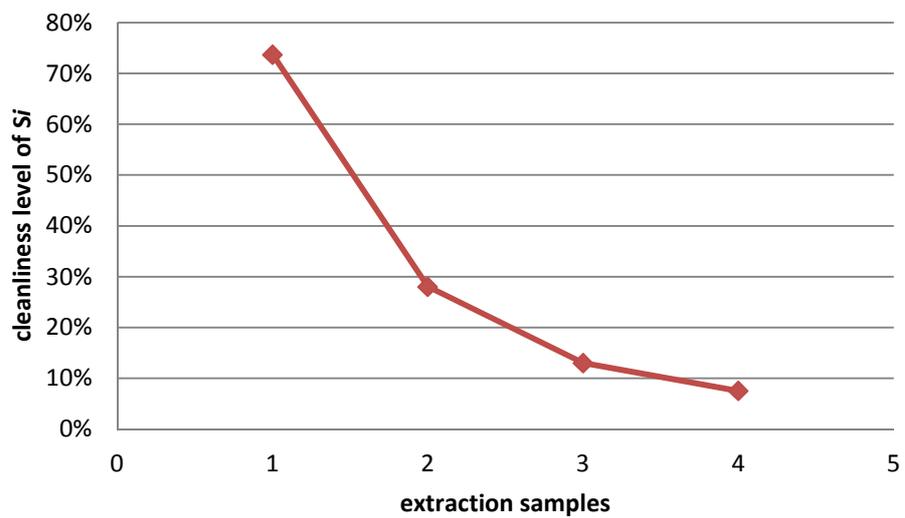
	Ultrasonic Duration	Qtà Comp.	da 5 a				
			15	15-25	25-50	50-100	>100
1estrazione	20	5	206,5	13,3	2	0	0
2estrazione	20	5	114,5	9,8	1,3	0	0
3estrazione	20	5	90,3	9	1	0	0
4estrazione	20	5	82,8	4,8	0,8	0	0
5estrazione	20	5	77,3	3	0,5	0	0
6estrazione	20	5	62	2,5	0,3	0	0
<b>Settings</b>							
<b>Sn&lt;=10%</b>			55%	74%	65%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Sn3</b>			22%	28%	23%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Sn4</b>			17%	13%	16%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Sn5</b>			14%	8%	9%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Sn6</b>			10%	6%	5%	#DIV/0!	#DIV/0!

	Ultrasonic duration (sum)	Qtà Comp.	da 5 a				
			15	15-25	25-50	50-100	>100
R1	120	5	503,8	25,8	3,3	0	0
R2	120	5	142,8	9	1		
<b>R2/(R1+R2)&lt;=0,3</b>			22%	26%	23%	#DIV/0!	#DIV/0!

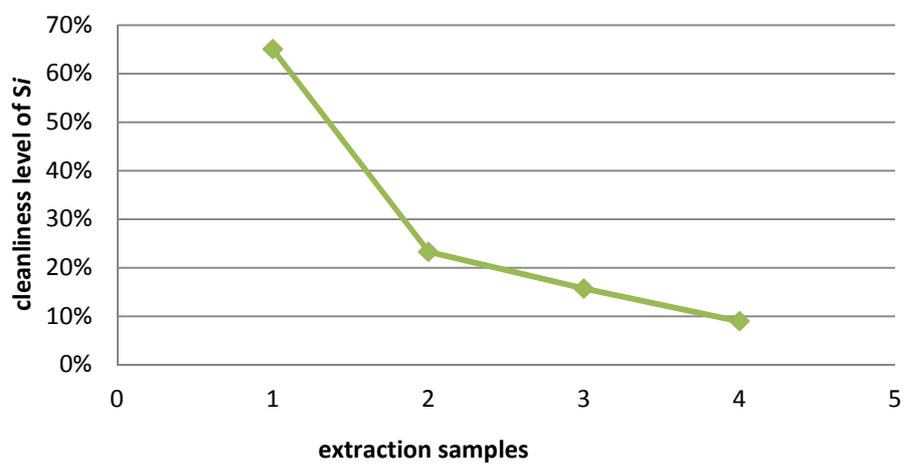
### Curva di decadimento 5-15 Micron



### Curva di decadimento 15-25 Micron



### Curva di decadimento 25-50 Micron



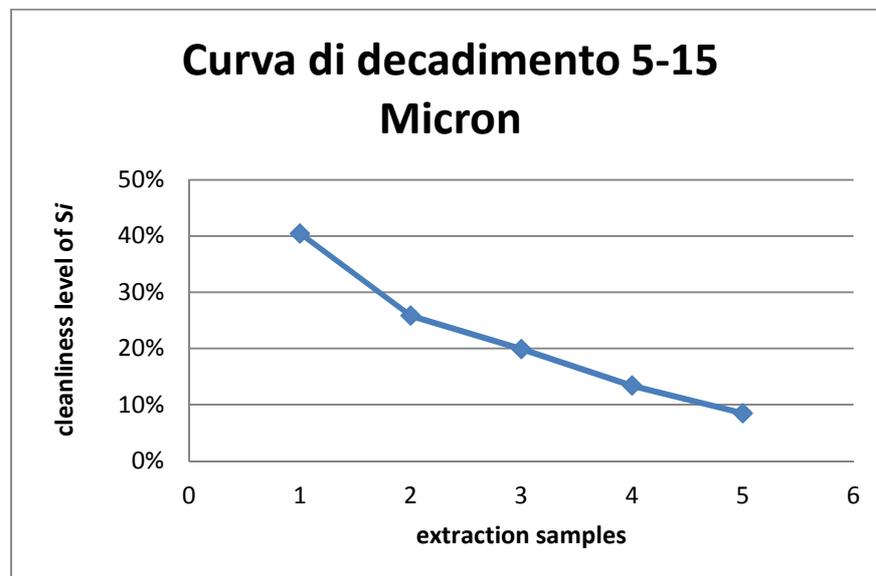
# Pole Piece

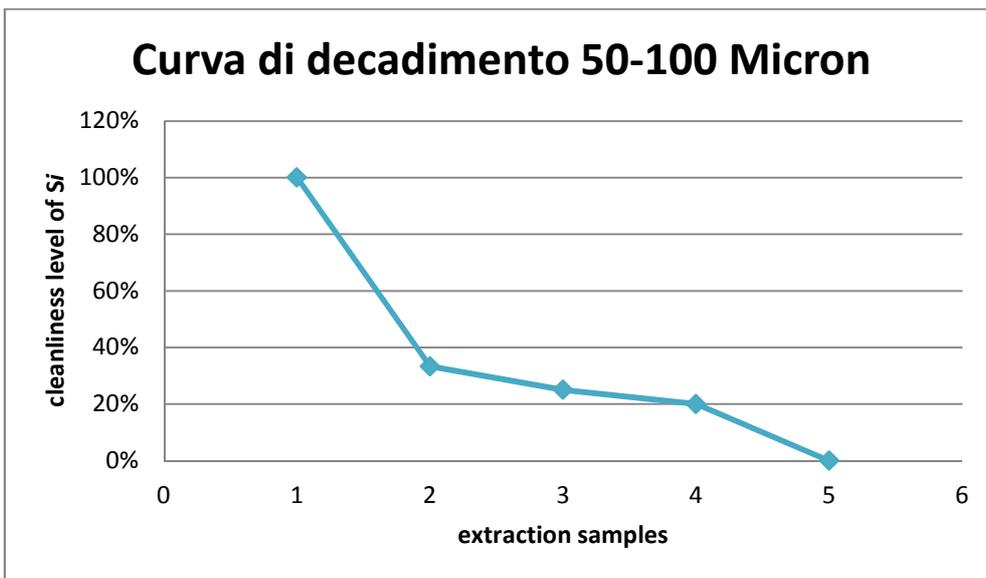
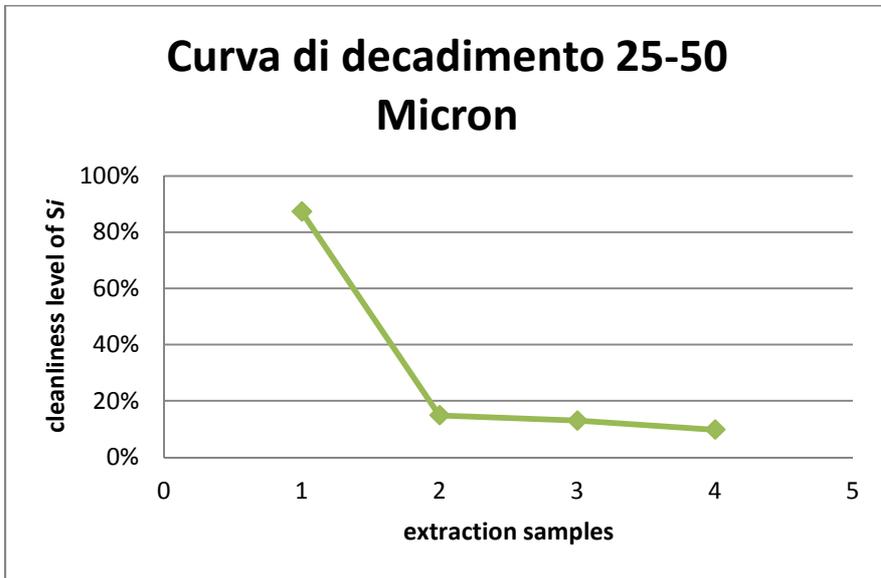
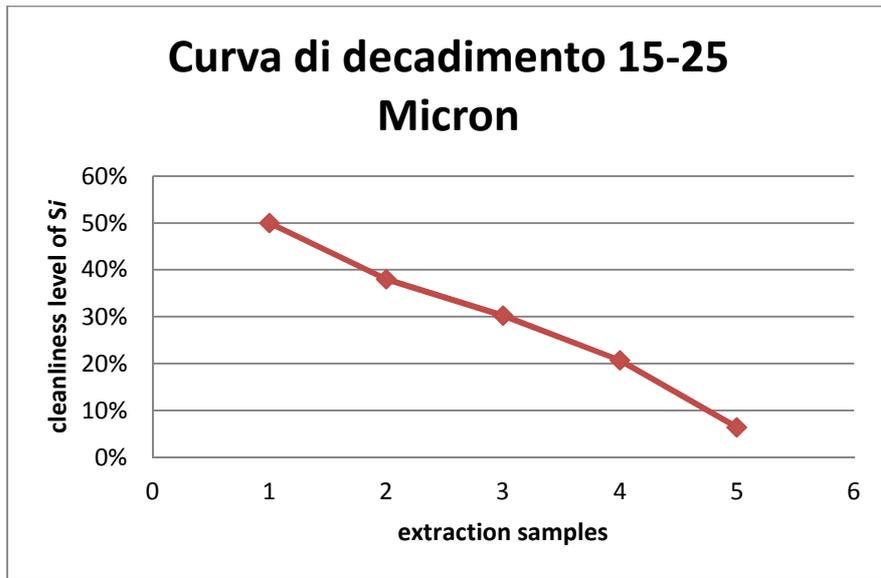
## partita 101569156

data 16/10/2013

	Ultrasonic Duration	Qtà Comp.	da 5 a	15-	25-	50-	>100
			15	25	50	100	
1estrazione	20	2	586,8	21	5,5	0,5	0
2estrazione	20	2	237,3	10,5	4,8	0,5	0
3estrazione	20	2	286,8	19,3	1,8	0,5	0
4estrazione	20	2	275,8	22	1,8	0,5	0
5estrazione	20	2	214,3	19	1,5	0,5	0
6estrazione	20	2	148	6,3	1,3	0	0
<b>Settings</b>							
<b>Sn&lt;=10%</b>			40%	50%	87%	100%	#DIV/0!
<b>Sn3</b>			26%	38%	15%	33%	#DIV/0!
<b>Sn4</b>			20%	30%	13%	25%	#DIV/0!
<b>Sn5</b>			13%	21%	10%	20%	#DIV/0!
<b>Sn6</b>			8%	6%	8%	0%	#DIV/0!

	Ultrasonic duration (sum)	Qtà Comp.	da 5 a	15-	25-	50-	>100
			15	25	50	100	
R1	120	2	1318,8	71,3	15,5	1,5	0
R2	120	2	550,5	22	5,5	0	0
<b>R2/(R1+R2)&lt;=0,3</b>			29%	24%	26%	0%	#DIV/0!



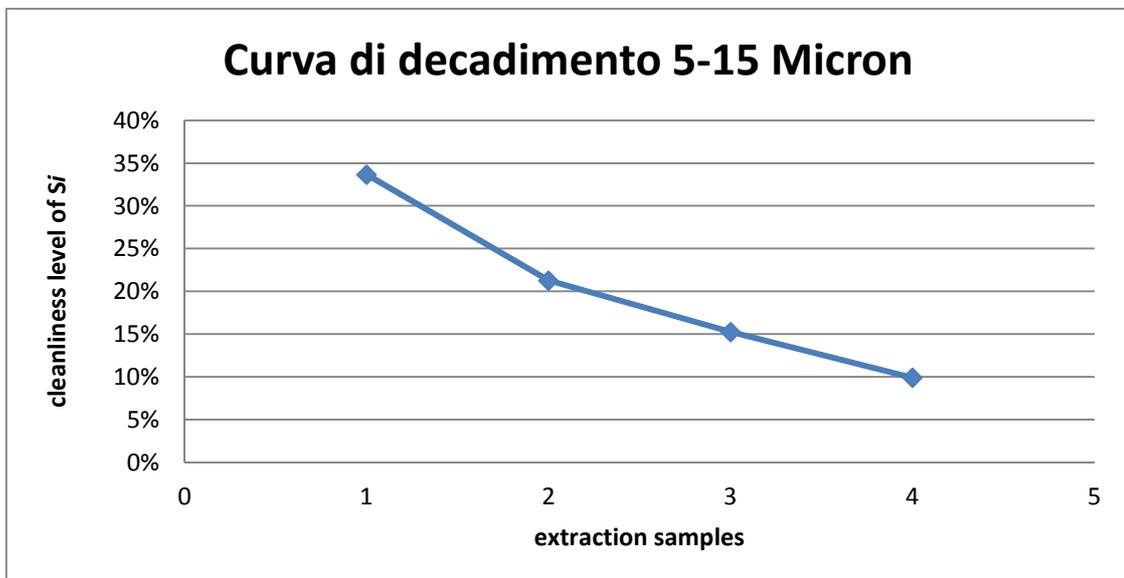


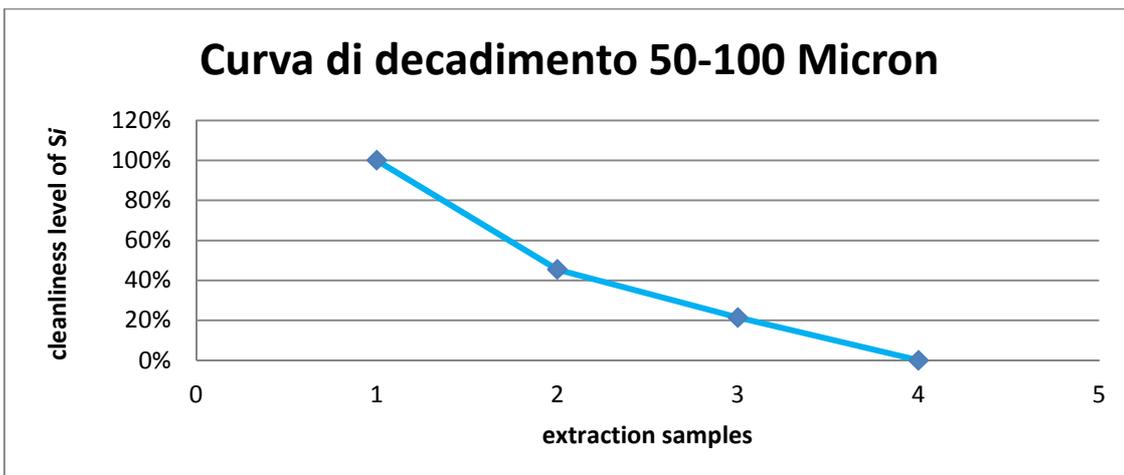
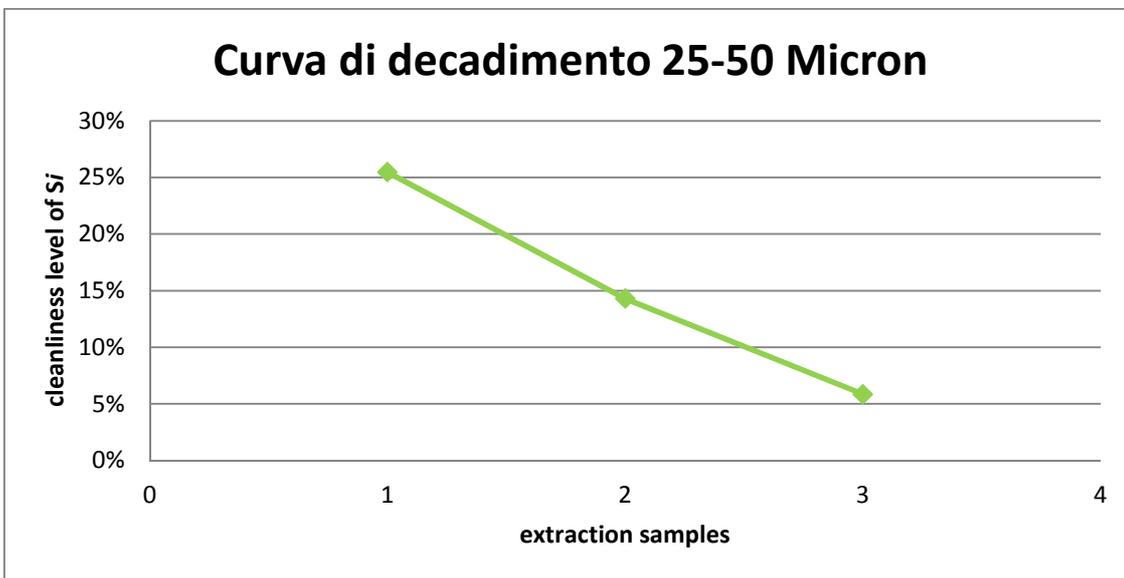
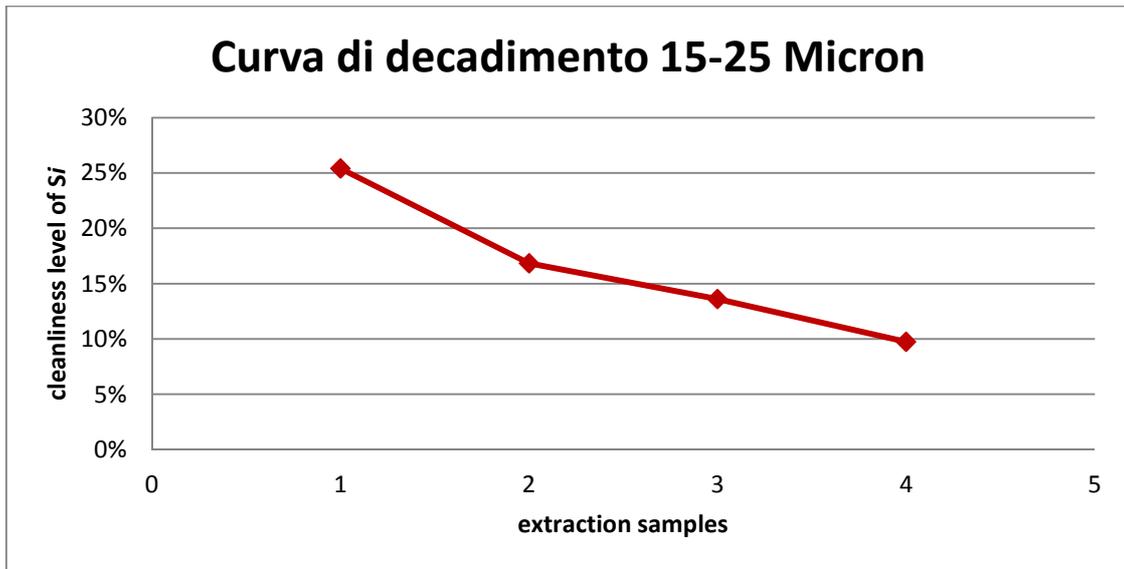
ATB data 18/10/2013

partita 161013100003

Ultrasonic Duration		Qtà Comp.	da 5 a 15	15-25	25-50	50-100	>100
1 estrazione	20	3	772,3	61	11	0,3	0
2 estrazione	20	3	260	15,5	2,8	0,3	0
3 estrazione	20	3	279	15,5	2,3	0,5	0
4 estrazione	20	3	236	14,5	1	0,3	0
5 estrazione	20	3	170	11,5	1	0	0
6 estrazione							
<b>Settings</b>							
<b>Sn&lt;=10%</b>			34%	25%	25%	100%	#DIV/0!
<b>Sn3</b>			21%	17%	14%	45%	#DIV/0!
<b>Sn4</b>			15%	14%	6%	21%	#DIV/0!
<b>Sn5</b>			10%	10%	6%	0%	#DIV/0!

Ultrasonic duration (sum)		Qtà Comp.	da 5 a 15	15-25	25-50	50-100	>100
R1	100	3	1242	71,5	8	0	0
R2	100	3	475,3	17	1,3	0	0
<b>R2/(R1+R2)&lt;=0,3</b>			28%	19%	14%	#DIV/0!	#DIV/0!





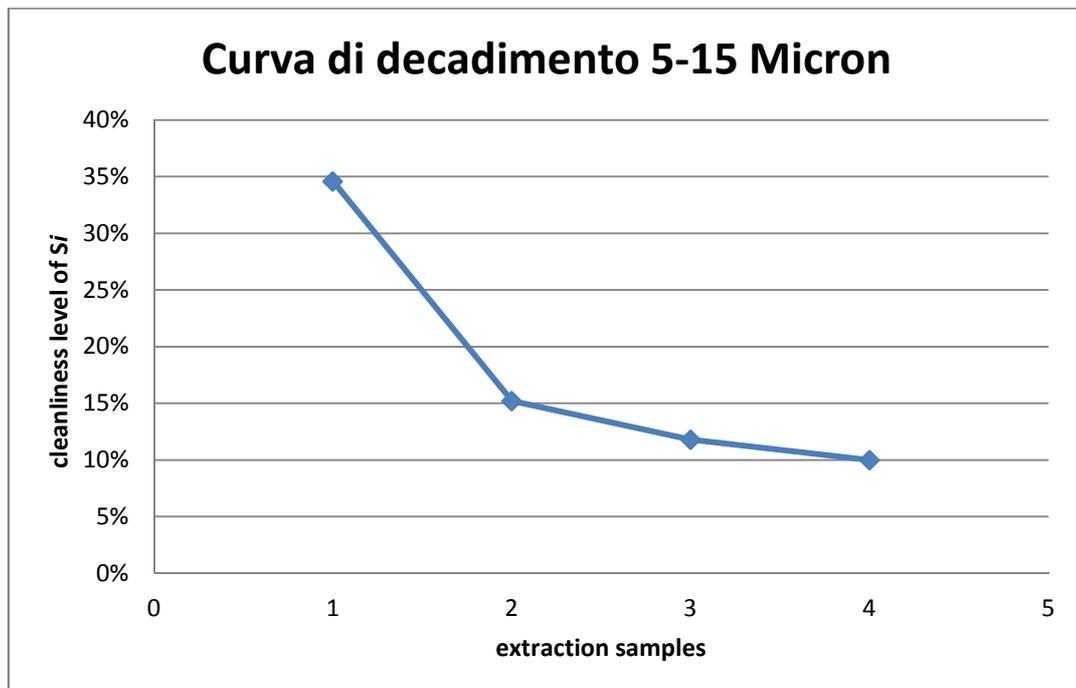
# Calibration Spring

## partita 0101563592

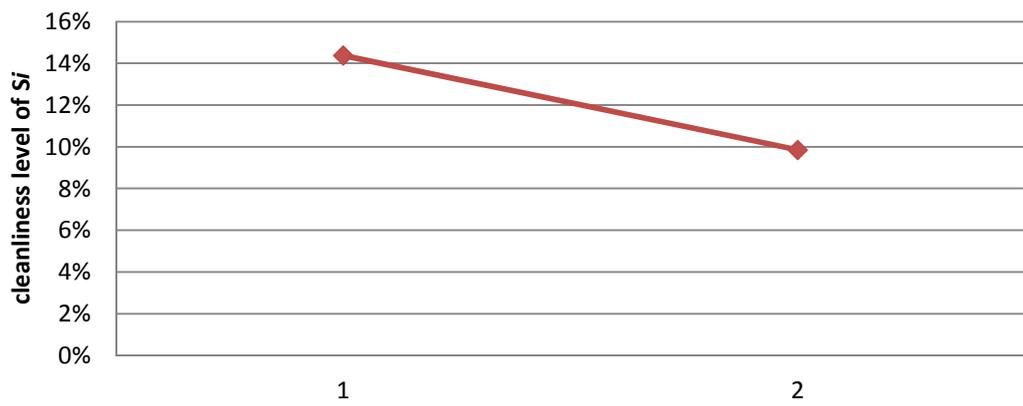
data 22/10/2013

	Ultrasonic Duration	Qtà Comp.	da 5 a 15	15-25	25-50	50-100	>100
1estrazione	20	5	574	16	1,8	0	0
2estrazione	20	5	198,5	2,3	0,5	0	0
3estrazione	20	5	138,5	2	0,3	0	0
4estrazione	20	5	121,8	2	0,3	0	0
5estrazione	20	5	114,5	2,3	0,3	0	0
6estrazione							
<b>Settings</b>							
<b>Sn&lt;=10%</b>			35%	14%	28%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Sn3</b>			15%	10%	12%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Sn4</b>			12%	9%	10%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Sn5</b>			10%	9%	9%	#DIV/0!	#DIV/0!
<b>Sn6</b>			0%	0%	0%	#DIV/0!	#DIV/0!

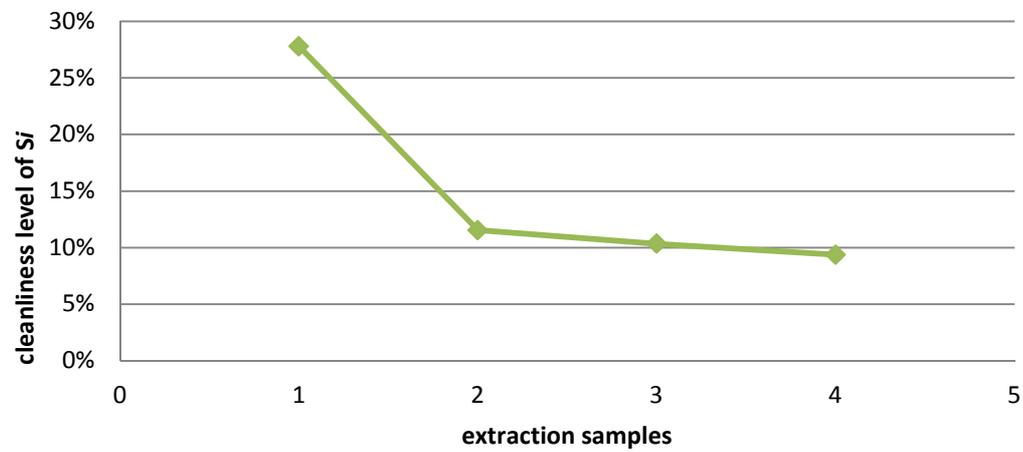
	Ultrasonic duration (sum)	Qtà Comp.	da 5 a 15	15-25	25-50	50-100	>100
R1	100	5	1115,3	38	3,5	0,5	0
R2	100	5	388,3	7,5	1	0	0
<b>R2/(R1+R2)&lt;=0,3</b>			26%	16%	22%	0%	#DIV/0!



### Curva di decadimento 15-25 Micron



### Curva di decadimento 25-50 Micron

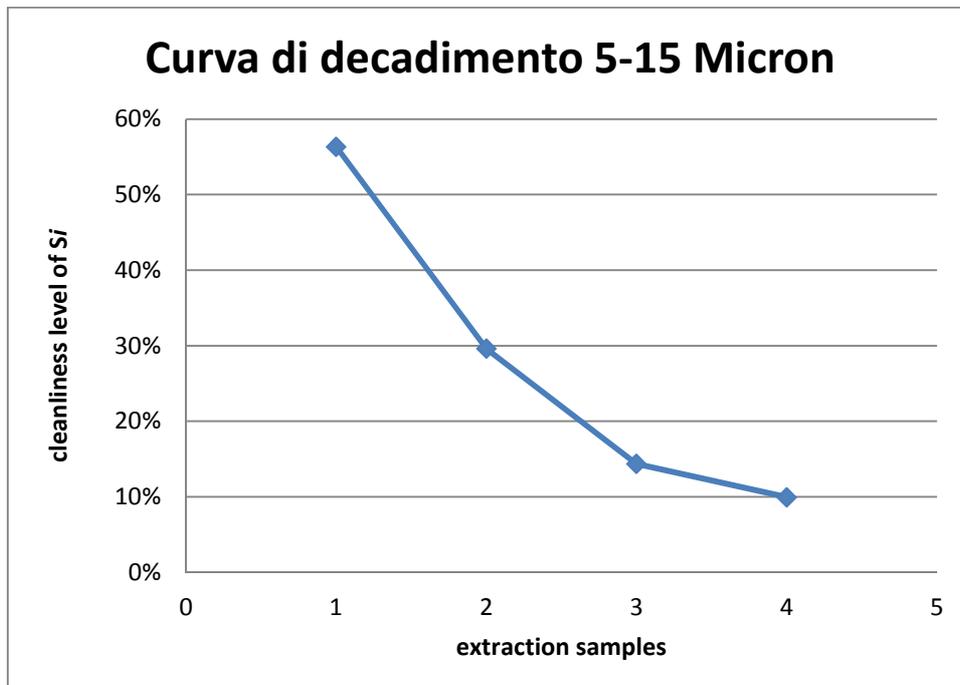


# Antibounce Spring data 23/10/2013

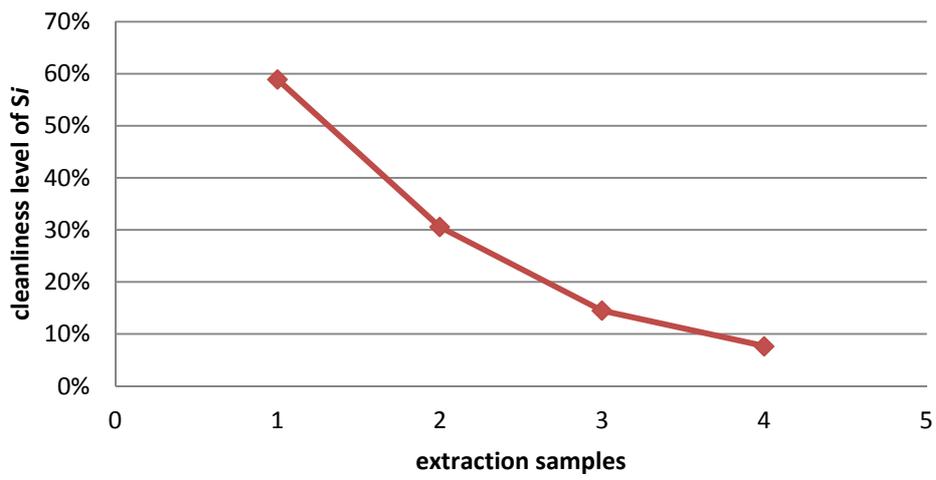
## partita 0101565237

	Ultrasonic Duration	Qtà Comp.	da 5 a 15	15-25	25-50	50-100	>100
1estrazione	20	3	282,8	9	1,3	0,3	0
2estrazione	20	3	159,3	5,3	0,8	0	0
3estrazione	20	3	186	6,3	1,3	0	0
4estrazione	20	3	105,3	3,5	0,5	0	0
5estrazione	20	3	81	2	0,3	0	0
6estrazione							
blank finale			#RIF!	#RIF!	#RIF!	#RIF!	#RIF!
<b>Settings</b>							
<b>Sn&lt;=10%</b>			56%	59%	62%	0%	#DIV/0!
<b>Sn3</b>			30%	31%	38%	0%	#DIV/0!
<b>Sn4</b>			14%	15%	13%	0%	#DIV/0!
<b>Sn5</b>			10%	8%	7%	0%	#DIV/0!

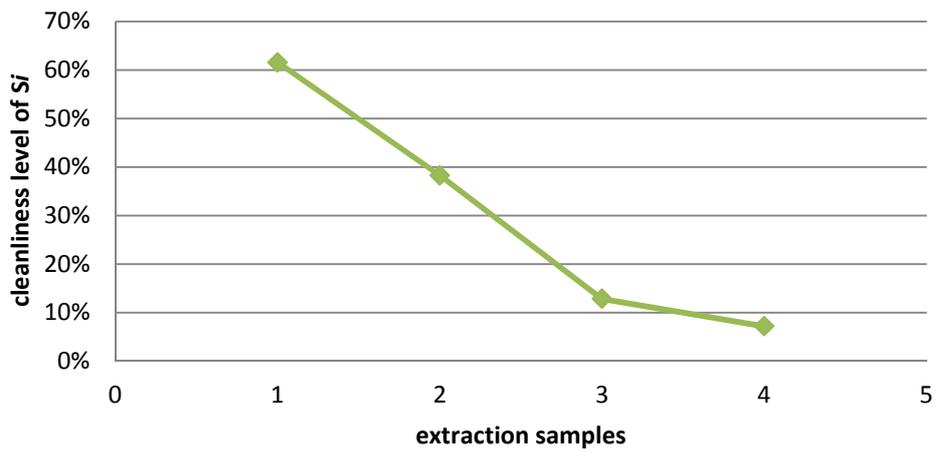
	Ultrasonic duration (sum)	Qtà Comp.	da 5 a 15	15-25	25-50	50-100	>100
R1		3	604	20,5	1,3	0,8	0
R2		3	186	6,3	0,5	0	0
<b>R2/(R1+R2)&lt;=0,3</b>			24%	24%	28%	0%	#DIV/0!



### Curva di decadimento 15-25 Micron



### Curva di decadimento 25-50 Micron



### 8.1.2 Definizione del processo di analisi

Dopo aver definito quali componenti analizzare e dopo aver creato e validato le ricette da fornire in input alla macchina per svolgere le analisi in modo efficace, è stato necessario definire la frequenza di analisi di tali componenti tenendo in considerazione che il tempo di analisi di ogni tipologia di componente è circa 18 minuti.

La definizione della frequenza di analisi ha tenuto conto delle seguenti esigenze/vincoli:

- il controllo produzione, operatore dedicato appunto ai controlli qualitativi, durante il suo turno è impegnato in una molteplicità di attività e non può assentarsi ogni turno dalla linea per tempi eccessivamente lunghi;
- la macchina (Surfex) è utilizzata da altre 2 linee all'interno dello stabilimento di Fauglia, è necessario quindi non occuparla per tempi eccessivamente lunghi e lasciare capacità disponibile anche per le altre linee;
- è necessario monitorare la cleanliness dei componenti con una frequenza che permetta di poter tenere sotto controllo il processo di lavaggio e la pulizia dei componenti in ingresso in linea;
- i componenti analizzati vengono considerati scarto (poiché il processo di reintroduzione comporterebbe un ulteriore lavaggio degli stessi, inoltre è possibile che la partita a cui appartengono sia già stata interamente lavata rendendo il tutto non possibile visto non è consentito mescolare partite diverse durante il lavaggio), una grande quantità di analisi di questo tipo va quindi ad incrementare il costo scarti.

Alla luce delle precedenti considerazioni si è deciso di analizzare 2 tipologie di componenti al giorno occupando l'operatore del Controllo produzione e la macchina per circa 35 minuti al giorno e non andando ad incidere in maniera gravosa sul costo scarti, riuscendo al contempo ad avere un monitoraggio della cleanliness dei componenti soddisfacente.

Visto che la linea lavora attualmente su un turno per 5 giorni a settimana, abbiamo la possibilità di analizzare  $5 \times 2 = 10$  tipologie di componenti a settimana quando i componenti da analizzare sono 6; si è deciso quindi di replicare l'analisi di 4 componenti 2 volte a settimana, mentre i 2 componenti considerati meno critici saranno analizzati una sola volta per settimana. I componenti con criticità minore sono stati identificati nelle molle, cioè i componenti che storicamente risultano essere più "puliti".

Le modalità di analisi e i passi da compiere sono stati formalizzati nell'istruzione CAI0600748 "Istruzione per l'utilizzo del Surfex e piani di reazione in caso di non conformità componenti XL3" dove è presente anche la frequenza di analisi ed il piano di reazione in caso di particelle fuori dai limiti di controllo.

La frequenza di analisi risulta quindi essere la seguente:

Pezzi	turno	Lun	Mar	Mer	Gio	Ven	Sab	Dom
<b>2 Valve Body</b> <b>5 Seat</b>	06-14							
<b>2 Pole Piece</b> <b>3 ATB</b>	06-14							
<b>3 Antibounce Spring</b> <b>5 Calibration Spring</b>	06-14							
<b>2 Valve Body</b> <b>5 Seat</b>	06-14							
<b>2 Pole Piece</b> <b>3 ATB</b>	06-14							

**Tabella 8.1-Frequenza di analisi componenti**

#### **8.1.4 Limiti di controllo e piano di reazione**

E' stato necessario a questo punto fissare dei limiti di controllo che permettessero di identificare quando il processo sta derivando e di attuare gli opportuni piani di reazione.

I limiti di controllo sono stati definiti in accordo con la specifica per la cleanliness dei componenti utilizzata in relazione al metodo di estrazione Sure Shot (applicato al laboratorio di San Piero a Grado), ovvero la S0197 B0 (specifica presente sui disegni dei componenti assemblati in clean room):

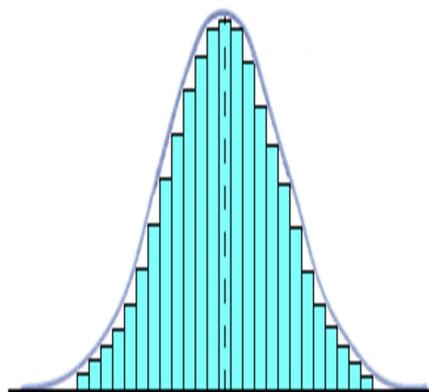
Cleanliness Level "B0"		
Particles size range [ $\mu\text{m}$ ]	Max n° Particles /100mm <sup>2</sup>	Max Dim. on 1 comp. [ $\mu\text{m}$ ]
>5	1560	150
>15	260	
>25	70	
>50	30	
>100	5	

Una revisione di questa specifica ha portato i limiti per le particelle >5 micron e >15 micron rispettivamente a 780 e 130 particelle per centimetro quadrato.

I limiti di controllo che abbiamo deciso di adottare riguardano quindi un metodo di estrazione e di conteggio completamente diverso da quello utilizzato per questo tipo di analisi, per tale ragione è stato necessario calcolare un opportuno fattore moltiplicativo che permettesse di riportare i dati delle analisi al Surfex in dati confrontabili con i limiti di controllo della specifica S0197-B0 definiti per il metodo di analisi Sure Shot.

Per ogni tipologia di componente è stato necessario svolgere 50 analisi di Cleanliness tramite Surfex e 50 analisi tramite Sure Shot, utilizzando componenti relativi alle stesse partite per le due modalità di analisi. Rapportando i risultati delle 2 analisi è stato calcolato per ogni componente un fattore moltiplicativo che permette di confrontare i dati delle analisi al Surfex con la specifica S0197.

Avendo le distribuzioni di dati una forma a campana stretta abbiamo potuto assumere la media come valore rappresentativo del fenomeno.



**Figura 8.3-Forma distribuzione dati analisi**

I fattori moltiplicativi sono stati calcolati per ogni range di particelle per tutti i componenti da analizzare:

<b>VALVE BODY</b>	<b>&gt;5</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;25</b>	<b>&gt;50</b>	<b>&gt;100</b>
Media misure Surfex/ Media misure Laboratorio	64,86	13,64	10,44	13,00	8,78

<b>SEAT</b>	<b>&gt;5</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;25</b>	<b>&gt;50</b>	<b>&gt;100</b>
Media misure Surfex/ Media misure Laboratorio	40,82	26,12	11,09	42,33	10

<b>POLE PIECE</b>	<b>&gt;5</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;25</b>	<b>&gt;50</b>	<b>&gt;100</b>
Media misure Surfex/ Media misure Laboratorio	24,15	5,01	3,86	12,04	9,25

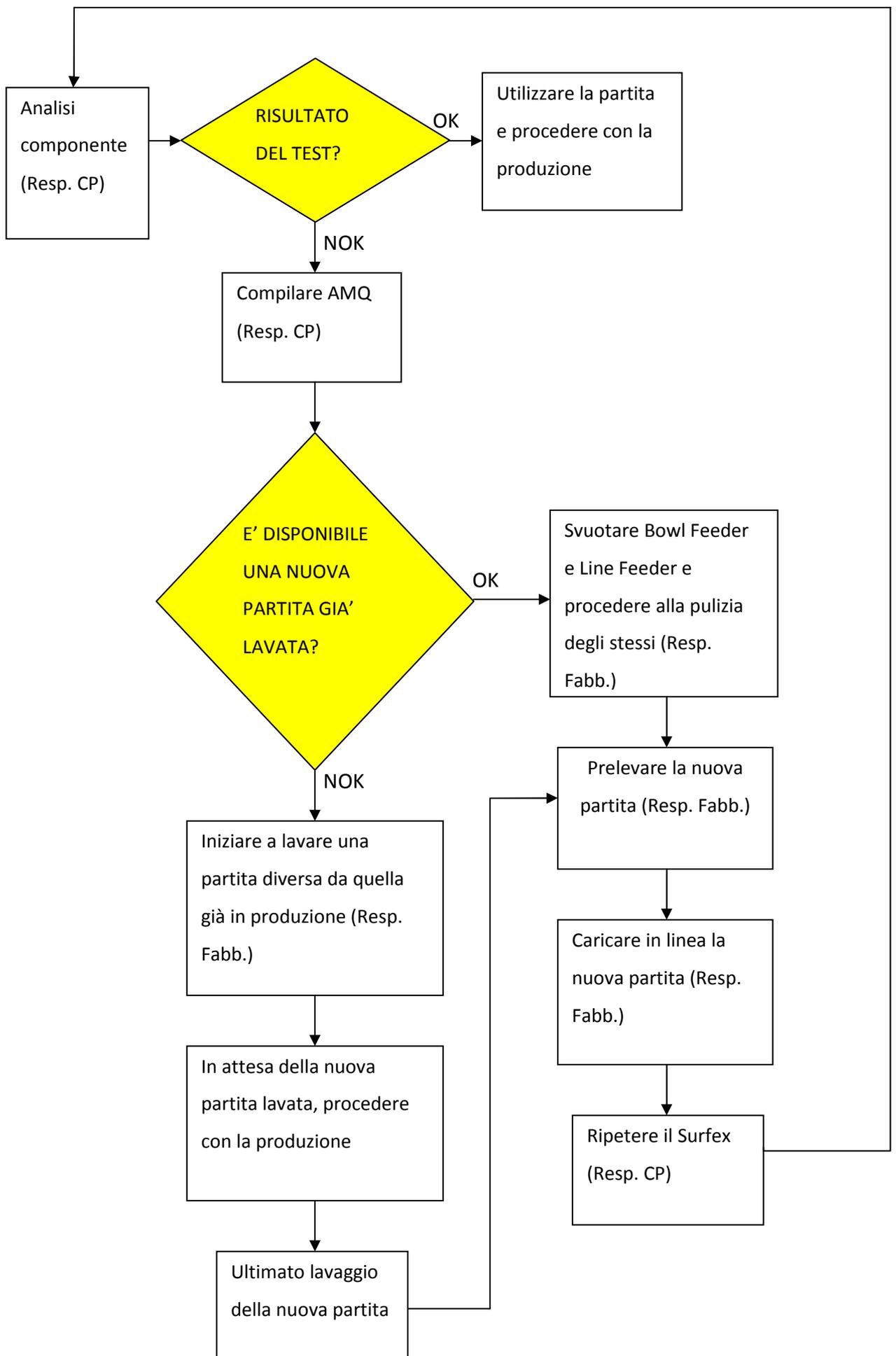
<b>ATB</b>	<b>&gt;5</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;25</b>	<b>&gt;50</b>	<b>&gt;100</b>
Media misure Surfex/ Media misure Laboratorio	12,16	4,18	1,93	1,63	2,1

<b>CALIBRATION SPRING</b>	<b>&gt;5</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;25</b>	<b>&gt;50</b>	<b>&gt;100</b>
Media misure Surfex/ Media misure Laboratorio	20,81	7,20	6,81	13,08	9,55

<b>ANTIBOUNCE SPRING</b>	<b>&gt;5</b>	<b>&gt;15</b>	<b>&gt;25</b>	<b>&gt;50</b>	<b>&gt;100</b>
Media misure Surfex/ Media misure Laboratorio	17,88	10,38	10,43	11,92	9,75

Il Surfex fornisce in output all'analisi un file Excel che riporta il conteggio delle particles/10 ml, copiando come da istruzione CAI0600748 i dati da questo file e riportandoli nel file elettronico Excel denominato "Tabella dati" presente nel computer del Surfex stesso è possibile effettuare automaticamente la conversione in particles/100 mm<sup>2</sup> e verificare tramite il colore assunto dalle caselle il rispetto o meno dei limiti di controllo.

Se i componenti risultano essere al di fuori dei limiti di controllo è necessario attuare come da istruzione il seguente piano di reazione definito in accordo con il responsabile della Qualità ed il responsabile di Produzione, sintetizzato in Fig. 8.4.



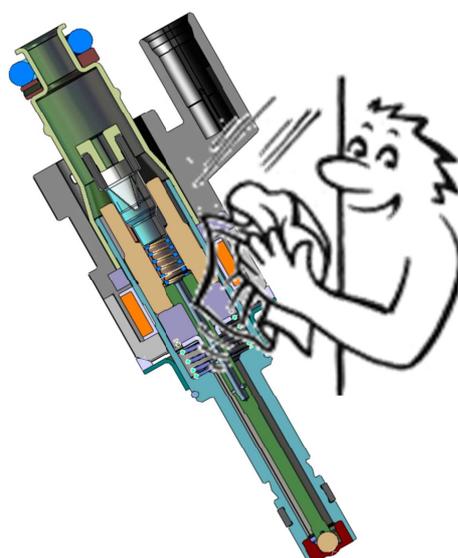
**Figura 8.4-Sintesi piano di reazione cleanliness componenti**

## Capitolo 9-Conclusioni

La decisione in fase di progettazione di non inserire all'interno di questo nuovo iniettore il componente denominato Lower Screen, presente invece nelle versioni precedenti, ha portato alla necessità di "combattere" il problema della contaminazione in modo ancora più aggressivo, da qui nasce l'esigenza di svolgere il progetto "Total Clean Injector".

Il Lower Screen rappresentava infatti nelle precedenti versioni un'ulteriore barriera per la contaminazione, una barriera posta appena al di sopra della zona di tenuta presente nella Seat, evitando che le particelle contaminanti più grandi arrivassero a contatto con la zona di tenuta della sede o con i fori sede. Questi punti come è stato ampiamente descritto in precedenza rappresentano delle zone di grande criticità per l'iniettore poiché se una particella contaminante vi finisce, la chiusura dell'iniettore può non avvenire in maniera ottimale e si può incorrere in perdite di carburante che possono portare a cause molto gravi, tra cui lo scenario più negativo, l'incendio del sistema di scarico dell'autovettura. Anche se l'iniettore riesce a chiudersi completamente, la presenza di contaminazione sui fori sede può causare una perdita di portata dell'iniettore, causando quindi una diminuzione delle performance dello stesso e quindi del motore. La decisione di non inserire questo componente è stata dettata dall'esigenza di ridurre il costo della BOM (Bill Of Material anche detta Distinta Base) e ridurre al contempo i costi di produzione.

Dopo un periodo di produzione su linea manuale è stata introdotta la linea automatica, precisamente il 27 Maggio 2013, il 28 Agosto 2013 con la linea automatica in fase di assestamento ed in funzione per un solo turno ha avuto inizio il progetto "Total Clean Injector" con l'intenzione di capire fin da subito quali fossero le principali cause di contaminazione ed intervenire su di esse.



## 9.1 I risultati raggiunti

Il progetto “Total Clean Injector” ha fornito all’azienda un **quadro della contaminazione** presente all’interno degli iniettori prodotti ed una **mappatura** della contaminazione presente nei punti di maggiore criticità della linea di assemblaggio e del modulo ATB, mappatura confluita in una **libreria degli agenti contaminanti**. Grazie alle analisi svolte è stato quindi possibile definire **azioni basate su dati di fatto** con l’intento di andare ad aggredire in modo efficace la presenza di agenti contaminanti sia negli iniettori che sulla linea e sui banchi di lavoro della clean room.

Come è stato descritto nei capitoli precedenti molte azioni sono già state effettuate ed hanno portato **all’eliminazione delle contaminazioni individuate fino al momento attuale**; altre azioni saranno invece implementate nei prossimi mesi sempre grazie alle informazioni raccolte in questo lavoro, di cui la più rilevante è l’introduzione di un macchinario per la scivolatura automatica 100% del componente Valve Body.

Al termine dei sei mesi relativi al presente lavoro di tesi sarà mantenuto in atto il processo di analisi degli scarti messo in piedi attraverso questo studio e ritenuto di fondamentale importanza e rilevanza per il monitoraggio della contaminazione e per avere la possibilità di agire definendo opportune azioni per ridurla; ricordiamo infatti che la contaminazione è un fenomeno che può velocemente mutare e non è detto che risolvendo le problematiche che sono presenti oggi, un domani non possa avere altre problematiche legate alla contaminazione per derive di processi o nuove cause.

Tramite questo lavoro di tesi è stato anche **creato un processo di analisi della Cleanliness componenti** che può essere attuato direttamente nella Clean Room di Fauglia con tempi e frequenze conciliabili con i carichi di lavoro degli operatori dedicati al Controllo Produzione.

Tale processo che deve essere svolto in continuo ha come obiettivo il monitoraggio della Cleanliness dei componenti in ingresso alla linea di assemblaggio, e di conseguenza un monitoraggio dell’efficacia dell’azione di lavaggio svolta tramite gli opportuni macchinari all’interno della clean room.

## 9.2 Stima dei costi legati alla contaminazione

La stima dei costi legati alla “contaminazione” è un attività che non è stata affrontata in maniera diretta all’interno del contesto aziendale in cui ci troviamo, nonostante l’importanza che tale problematica ha sul corretto funzionamento dell’iniettore e quindi sulla conformità del prodotto.

Questo perché il problema della contaminazione rispetto a tutti gli altri aspetti produttivi non va ad incidere in maniera diretta e rilevante sui costi, è un problema che “latita” e che non comporta grandi danni all’azienda fino a quando questa problematica non arriva in maniera massiccia al cliente; tale scenario nella più grave delle ipotesi può comportare l’insorgere di una campagna di richiamo e la perdita del cliente.

Non avendo a disposizione informazioni storiche sulla perdita di clienti dovuti ad aspetti legati alla contaminazione non siamo in grado di quantificare il livello di tolleranza dei vari clienti, e il costo in termini di immagine che la contaminazione può generare, cioè il maggiore ed il più rilevante costo che questa problematica comporta.

Vediamo le voci di **costo** che possono essere prese in considerazione in relazione alla diffusione della **contaminazione all’interno degli iniettori**.

### Costo scarti

Per quanto riguarda il costo degli scarti, è necessario innanzitutto valutare la % di scarti dovuti a contaminazione, considerando che la media settimanale nell’arco di tempo che va dalla calendar week 31 2013 alla cw 2 2014 è:

- N=0.014%
- I=0.031%
- M=0.013%

Si può da subito notare che si tratta di piccole cifre che complessivamente possono essere apprezzate in 6 scarti su 10000 iniettori testati; considerando che si tratta di una delle ultime cause di scarto possiamo definire come poco rilevante questa problematica all’interno del costo scarti in questo momento.

Si tratta di cifre quantificabili nell’ordine delle migliaia di euro l’anno.

### **Costo Downtime linea**

Un costo di maggiore rilevanza è rappresentato dal tempo di fermo linea dovuto al verificarsi di scarti N (lo scarto storicamente maggiormente legato a contaminazione), per il quale è riservata una procedura a parte data la sua gravità (ricordiamo che corrisponde ad un abbassamento della portata statica al di sotto del 10% di quella nominale).

Questi costi si concretizzano attraverso una perdita di efficienza della linea legata ad un corrispondente costo di fermo linea; al verificarsi di uno scarto N la linea viene arrestata e viene messa in pratica un'apposita procedura di pulizia/controllo della linea stessa, dopodiché gli iniettori prodotti per un certo arco di tempo precedente e successivo al verificarsi dello scarto vengono sottoposti a "re-run" in testline.

Nello storico della linea XL3 il Downtime legato a scarti N è di circa 1.3% ovvero in valore relativamente basso; anche in questo caso si tratta quindi di un costo che si trova nell'ordine delle migliaia di euro l'anno.

### **Costi in termini di immagine e campagne di richiamo**

I costi che "spaventano" maggiormente l'azienda sono i costi in termini di immagine e di campagne di richiamo che si hanno nei confronti dei clienti quando iniettori non conformi a causa di presenza di contaminazione arrivano presso di essi. Può accadere infatti come abbiamo visto anche all'interno di questo lavoro di tesi che la contaminazione non sia identificata internamente a causa di particolari condizioni e che essa manifesti la sua presenza solo durante le prove svolte dal cliente.

Il frequente verificarsi di eventi di tal genere possono causare l'insorgere di campagne di richiamo causando gravissimi costi per l'azienda ed importanti perdite di immagine nei confronti del cliente con conseguenza più grave la perdita dello stesso.

La stima di tale costo è di difficile realizzazione, ma si può sostenere che nel caso esso si concretizzi, può essere stimato nell'ordine dei milioni di euro.

Sono ora citati i **costi relativi alla realizzazione del presente progetto**.

### **Costo analisi**

Un costo che deve essere considerato in relazione all'implementazione di questo progetto è il costo speso per le analisi di iniettori scarto e ritorni cliente legati a contaminazione presso il laboratorio di San Piero a Grado. Le attività e le tempistiche necessarie per le analisi sono:

- ✓ Trasporto (20' - 0.333 h)
- ✓ Registrazione (2' - 0.033 h)
- ✓ Analisi visiva microscopio ottico (5' - 0.083 h)
- ✓ Analisi Furness (2' - 0.033 h)
- ✓ Tear down (10' - 0.167 h)
- ✓ Foto (5' - 0.083 h)
- ✓ Raccolta contaminazione (5' - 0.083 h)
- ✓ Analisi al SEM (15' - 0.25 h)
- ✓ Report (5' - 0.083 h)

Considerando che il costo orario del laboratorio inserendo tutte le voci di costo (manodopera, energia, ecc.) è circa 60 euro/h e trascurando invece il costo del trasporto per un viaggio stabilimento Fauglia-stabilimento San Piero pari a 10 euro poiché tale costo non è legato trasporto del solo scarto di contaminazione da analizzare ma va ripartito su tutto il materiale che viene giornalmente trasportato da uno stabilimento all'altro e possiamo quindi dire che tale costo è trascurabile. Si stima quindi che ogni scarto per contaminazione analizzato presso il laboratorio di San Piero a Grado costa all'azienda una cifra di:

$$(0.033+0.083+0.033+0.167+0.083+0.083+0.25+0.083) * 60 = 48,9 \text{ euro} \approx 50 \text{ euro}$$

L'incidenza di tale cifra andrà valutata in relazione al numero di iniettori che si decide di analizzare in funzione di differenti esigenze, ma è ipotizzabile una stima nell'ordine delle migliaia di euro.

### **Costo delle risorse umane coinvolte e costo delle azioni implementate**

Anche il costo del personale relativo al team XL3 coinvolto in questo progetto sommato al costo delle azioni intraprese è nell'ordine delle migliaia di euro. E' da sottolineare infatti

che molte delle azioni intraprese sono state azioni a carico del fornitore poiché riguardavano i componenti in ingresso alla linea.

Confrontando i costi di implementazione del progetto "Total Clean Injector" con le stime dei costi derivanti dalla presenza di contaminazione solida a zero ore all'interno del prodotto finito, è facile intuire i vantaggi economici che si ottengono grazie a questo progetto.

### **9.3 Gli scenari futuri**

Come detto in precedenza l'azione più rilevante che sarà introdotta in seguito alla realizzazione del progetto "Total Clean Injector" è l'introduzione di un apposito macchinario per la scivolatura automatica interna dei Valve Body, il quale secondo i piani sarà introdotto nell'Aprile 2014.

Tale macchinario, introdotto dal reparto componenti di Fauglia, permetterà lo "sbavamento" di tutti i diametri interni del componente Valve Body attraverso diversi step di lavorazione e differenti tipologie di tool; questo nuovo processo riguarderà la totalità dei Valve Body prodotti in relazione alla contaminazione AISI 430.

Uno dei problemi legati alla contaminazione AISI 304, è stato individuato nel piantaggio di due componenti dello stesso materiale (Hydro Disc-Needle), l'uno sull'altro, che danno luogo ad un fenomeno di fusione delle superfici a contatto con possibile distaccamento di materiale (fenomeno definito "GALLING"); questo studio ha evidenziato che tale problema può essere contenuto attraverso opportuna lubrificazione. Le successive versioni di prodotto sia per questo motivo che per altri motivi (dilatazione termica dei materiali di Valve Body e Needle deve essere la stessa, ecc.) presenteranno un Needle realizzato in AISI 430 e non più in AISI 304 andando a risolvere in modo definitivo questa problematica.

Un'altra modifica di prodotto introdotta che aiuterà a ridurre la presenza di contaminazione è l'eliminazione del foro cieco all'interno del Needle, tale lavorazione poteva infatti causare la presenza di residuo di truciolo all'interno del foro stesso che al passaggio del carburante veniva distaccato ed andava a causare il malfunzionamento dell'iniettore; il foro cieco nelle prossime versioni di prodotto sia per questa problematica che per altre ragioni sarà eliminato e sostituito con dei fori passanti nell'Armature.

Nell'attuale versione il problema è stato risolto attraverso l'azione correttiva 15 cioè l'introduzione di uno speciale processo di lavorazione del foro cieco.

L'individuazione di queste problematiche, probabilmente spiegano anche il perché alcuni prodotti sono arrivati ai clienti caratterizzati da contaminazione AISI 304 senza che la Testline la rilevasse; quando queste tipologie di contaminazione sono presenti (sia in relazione al problema del Galling che in relazione al problema del foro cieco nel Needle) non è detto che vi sia un immediato distaccamento delle stesse cioè non sono "libere" ma legate alla superficie del componente. Se i test interni non riescono a distaccarle e quindi a dar modo di evidenziare il problema tramite la misurazione della portata o delle perdite, è possibile che il distaccamento avvenga presso il cliente ed ecco allora che si genera il problema ed il ritorno.

Un altro scenario è rappresentato dall'introduzione del lavaggio in tray del componente ATB, risultato in questo studio uno dei componenti più critici per la contaminazione. Si va ad introdurre quindi un lavaggio più performante ed efficace rispetto all'attuale lavaggio in bulk.

Nei prossimi 6 mesi il progetto "Total Clean Injector", visti gli ottimi risultati ottenuti, sarà allargato ad altre linee di produzione presenti presso la Continental Italy S.p.a. di Pisa, ovvero linea Deka 4, Deka 7 ed XL2.

Per quanto riguarda il processo di monitoraggio della Cleanliness componenti, lo scenario futuro più probabile è legato ad uno studio di correlazione tra i dati ottenuti dalle analisi e le azioni di manutenzione/interventi svolti sul macchinario dedicato al lavaggio; questo per capire se tali azioni debbano essere svolte con maggiore frequenza o è possibile svolgerle con frequenza minore.

## **Elenco delle figure**

***Figura 1.1-Struttura divisionale di Continental Corporation (pagina 12)***

***Figura 1.2-Three Pillars of Continental Corporation (pagina 12)***

***Figura 1.3-Struttura organizzativa dell'Engine System (pagina 13)***

***Figura 1.4-Struttura organizzativa Pisa Plant (pagina 14)***

***Figura 1.5-Linea temporale prodotti Pisa Plant (pagina 20)***

***Figura 2.1-Posizione iniettore bassa pressione (pagina 24)***

***Figura 2.2-Posizione iniettore alta pressione (pagina 24)***

***Figura 2.3-Iniettore (pagina 26)***

***Figura 2.4-Sezione iniettore (pagina 27)***

***Figura 2.5-Sezione con nomi componenti iniettore (pagina 28)***

***Figura 2.6-Schema di funzionamento dell'elettroiniettore (pagina 40)***

***Figura 2.7-Spray angle (pagina 42)***

***Figura 2.8-Spray penetration (pagina 43)***

***Figura 2.9-Chart of Maximum fuel pressure applied on the o-ring interface Injector (pagina 43)***

***Figura 2.10-Layout Assembly Line(pagina 44)***

***Figura 3.1-Tipica contaminazione dannosa per l'iniettore (pagina 53)***

***Figura 3.2: Determinazione del Rapporto Beta (pagina 60)***

***Figura 3.3-Moduli "critici" precedenti all'inserimento del filtro (pagina 61)***

***Figura 3.4- Esempio di classificazione del contaminante secondo la ISO 4406 (pagina 66)***

***Figura 4.1-Quality Board Clean Room XL3 (pagina 69)***

***Figura 4.2-Approccio congiunto PDCA e KAIZEN (pagina 70)***

***Figura 4.3-Schema delle analisi messe in atto nel lavoro di tesi (pagina 73)***

***Figura 4.4-Esempio di analisi al SEM (pagina 75)***

***Figura 4.5-Esempio di analisi al FTIR (pagina 76)***

***Figura 4.6-Diagramma di Ishikawa (pagina 77)***

***Figura 4.7-Schema metodologia progetto "Total Clean Injector" (pagina 78)***

***Figura 5.1-Diagramma a blocchi processo di analisi scarti (pagina 82)***

***Figura 5.2-10 particelle più grandi filtro Testline modulo 1 (pagina 92)***

***Figura 5.3-Esempio contaminazione componente Valve Body (pagina 95)***

***Figura 5.4-Esempio contaminazione componente Valve Body (pagina 95)***

***Figura 5.5-Esempio contaminazione componente Needle (pagina 96)***

***Figura 5.6-Analisi SEM contaminazione componente Needle (pagina 96)***

***Figura 5.7-Esempio contaminazione componente ATB (pagina 97)***

***Figura 5.8-Esempio contaminazione componente ATB (pagina 97)***

***Figura 5.9-Esempio contaminazione componente ATB (pagina 98)***

***Figura 5.10-"Trappole"utilizzate per la raccolta della contaminazione (pagina 99)***

***Figura 5.11-Esempi di AISI 430 modulo10 (pagina 100)***

***Figura 5.12-Esempi di AISI 430-Alluminio-Alluminio modulo 20 (pagina 100)***

***Figura 5.13-Esempi di AISI 430 modulo 25 (pagina 101)***

***Figura 5.14-Esempi di Brass- adjT/antibounce modulo 40 (pagina 102)***

***Figura 5.15-Esempi di AISI 430 modulo 50 (pagina 102)***

***Figura 5.16-Esempi di Brass-Prevalenza Ferro-AISI 430 modulo 60 (pagina 103)***

***Figura 5.17-Esempi di AISI 304-AISI 304-CC13XP stazione 5 modulo ATB (pagina 103)***

***Figura 6.1 Pareto contaminazione scarti con cerchiate le 5 contaminazioni aggredite durante il progetto (pagina 106)***

***Figura 6.2-Diagramma di Ishikawa contaminazione AISI 430 (pagina 107)***

***Figura 6.3-Diagramma di Ishikawa contaminazione AISI 304 (pagina 111)***

***Figura 6.4-Stazione 5 modulo ATB (pagina 113)***

***Figura 6.5-Contaminazione derivante da nastro PVC banchi di lavoro (pagina 116)***

***Figura 6.6-Contaminazione derivante da nastro trasportatore tray in nylon 66 (pagina 118)***

***Figura 6.7-Contaminazione materiale corrispondente a cotone (pagina 120)***

***Figura 7.1-Contaminazioni scarti ed azioni intraprese (pagina 122)***

***Figura 7.2-Cappine personale Clean Room XL3 (pagina 127)***

***Figura 7.3-Banchi di lavoro con assenza di alcun tipo di nastro PVC (pagina 128)***

***Figura 7.4-Nastro trasportatore tray moduli Assembly Line (pagina 129)***

***Figura 8.1-Macchina Surfex (pagina 130)***

***Figura 8.2-Curva di estrazione ideale (pagina 134)***

***Figura 8.3-Forma distribuzione dati analisi (pagina 149)***

***Figura 8.4-Piano di reazione cleanliness componenti (pagina 151)***

## **Elenco delle tabelle**

***Tabella 1.1-Suddivisione reparti stabilimenti Fauglia/San Piero a Grado (pagina 14)***

***Tabella 1.2-Prodotti e Clienti Pisa Plant (pagina 20)***

***Tabella 2.1- Maximum fuel pressure applied on the o-ring interface Injector (pagina 43)***

***Tabella 3.1-Esempi di contaminazione solida suddivisa per durezza (pagina 54)***

***Tabelle 3.2-Classi specifica S0197 (pagina 67)***

***Tabella 5.1-Tabella Excel relativa all'analisi scarti compilata dal controllo produzione (pagina 83)***

***Tabella 5.1-Tabella Excel relativa all'analisi scarti compilata dal controllo produzione (pagina 83)***

***Tabella 8.1-Frequenza di analisi componenti (pagina 148)***

## **Bibliografia**

- 1. Xiaojian Tao, Treuhaft M. B., "Contamination Sensitivity of Automotive Components ", SAE Paper 970552, 1997**
- 2. Bessee G. B., Yost D. M., " High Pressure Injection Fuel System Wear Study ", SAE Paper 980869, 1998**
- 3. Totten G. E., Bishop R. J., " Hydraulic Pump Testing Procedures to Evaluate Lubrication Performances of Hydraulic Fluids ". SAE Paper 952092, 1995**
- 4. Fitch, E. C., " Fluid Contamination Control ", FES Inc., Stillwater, OK, 1988**
- 5. SAE Journal 905, " Fuel Filter Test Methods ", 1987**
- 6. Verdegan B. M., " NIST Traceable Particle Counter Standard – Contamination Control Enters the Next Century " SAE Paper 981970, 1998**
- 7. ASTM Standards D 4174, " Standard Practice for Cleaning, Flushing, and Purification of Petroleum Fluid Hydraulic Systems ", 1994**
- 8. ASTM Standards D 2882, " Standard Test Method for Indicating the Wear Characteristics of Petroleum and Non Petroleum Hydraulic Fluids in a Constant Volume Vane Pump " 1990**
- 9. Norma ISO 4406, " Hydraulic Fluid Power – Fluids – Method for Coding Level of Contamination by Solid Particles ", 1987**
- 10. Giancarlo Ferrari, " Motori a combustione interna " - Edizioni Il Capitello Torino 1995**

11. **Fabio Lorenzon, "Definizione di un metodo standardizzato di analisi della contaminazione nei componenti e processi dell'elettroiniettore DekavII", 2006.**
12. **Vanessa Colombini, "Istruzione per la validazione del metodo di estrazione sui componenti", 2012**
13. **Industrial Engineering Continental Pisa, "DI XL3 INJECTOR – LINE 2 – AUTOMATIC - FLOW CHART", 2012**
14. **Dossier "la clinica dei capolavori" da torinoscienza.it**
15. **E.Rossi /A.Ruggeri, "Manuale della qualità Continental Pisa", 2013**
16. **Luigi Marchi, "Cleanliness Project XL2", 2009**
17. **Paolo Attanasio, "Iniezione elettronica con attuatori a solenoide per motori a benzina, Siemens VDO" 2005;**
18. **Norma ISO 16232," Road vehicles — Cleanliness of components of fluid circuit", 2007.**

## **Ringraziamenti**

Come prima cosa vorrei porgere i miei ringraziamenti a Massimiliano Ghimenti, Alessandro Cini ed a tutti i componenti del reparto Qualità Continental di Pisa in cui ho svolto il periodo di stage, per la disponibilità e per l'attenzione dimostratami e per aver reso questo percorso oltre che altamente formativo anche divertente e leggero.

Ringrazio Franco Failli per la pazienza e per la cura con cui ha supervisionato il lavoro e per la disponibilità dimostratami in ogni momento.

Questo lavoro di tesi per me segna la fine di un percorso più ampio, iniziato nell'Ottobre 2008; sono d'obbligo alcuni ringraziamenti in riferimento a tutto il cammino intrapreso.

Alla mia famiglia, in particolare ai miei genitori, il mio ringraziamento più grande, per il continuo incoraggiamento, supporto e fiducia continua, fondamentale al raggiungimento di questo traguardo.

A Martina, per essermi sempre stata vicino e per aver sempre condiviso le mie scelte.

A Marco, Matteo e Saverio per avermi accompagnato in questo percorso durante tutti questi anni.

A tutti gli amici che hanno creduto in me.

“In tutti i percorsi, le sfide, le partite che si intraprendono la cosa più importante è lottare e crederci fino alla fine; mettercela tutta perché dove non si arriva con il talento si può arrivare con il carattere!”

Matteo Andreini