



UNIVERSITÀ DI PISA

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

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

***Gestione del progetto di sviluppo di un iniettore
ad alta pressione nella fase tra Design Validation e
Industrializzazione in Vitesco Technologies***

SINTESI

RELATORI

Prof. Ing. Gionata Carmignani
*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi,
del Territorio e delle Costruzioni*

Ing. Alessio Vannozzi
Vitesco Technologies

IL CANDIDATO

Maria Gioia Lastraioli

mglastraioli@gmail.com

Sessione di Laurea Magistrale del 24/11/2021

Gestione del progetto di sviluppo di un iniettore ad alta pressione nella fase tra Design Validation e Industrializzazione in Vitesco Technologies

Maria Gioia Lastraioli

Sommario

La seguente tesi è stata sviluppata attraverso un percorso formativo di sei mesi svolto presso l'azienda Vitesco Technologies. L'iniettore protagonista della tesi è l'XL5.1-50, attorno al quale ruota uno dei progetti più complessi che l'azienda sta sviluppando. Il tirocinio è stato effettuato presso il reparto R&D in cui si trova l'area dedicata al Project Management degli iniettori ad alta pressione. L'adozione, in ambito europeo, di normative sempre più stringenti relative alle emissioni di particolato dei motori a combustione interna impone una più ampia conoscenza ed un continuo miglioramento delle prestazioni dei sistemi di iniezione benzina. Il lavoro svolto si è concretizzato nella creazione di tre database utili a supportare l'attività di Project Management lato Logistics, Engineering e Purchasing. Fondamentale base di partenza è stata la necessità di comprendere in primis come fosse strutturato il progetto e in secondo luogo di individuare la fase che stava attraversando per il reperimento delle informazioni più rilevanti da inserire nei database. Inoltre è stato supportato il processo dei ritorni da cliente attraverso la preparazione della documentazione interna e verso il cliente stesso.

Abstract

The following thesis has been developed during a six-month period at Vitesco Technologies. The injector featured in the thesis is the XL5.1-50, around which one of the most complex projects being developed by the company revolves. The internship was carried out at the R&D department, where the area dedicated to the Project Management of high-pressure injectors is located. The adoption, within Europe, of increasingly stringent regulations on particulate emissions from internal combustion engines requires a greater understanding and continuous improvement of the performance of petrol injection systems. The work carried out resulted in the creation of three databases to support the Logistics, Engineering and Purchasing Project Management activities. The fundamental starting point was the need to understand firstly how the project was structured and secondly to identify the phase it was going through to find the most relevant information to be included in the databases. In addition, the process of returns from the customer has been supported through the preparation of internal and customer documentation.

1. Introduzione

L'elettroiniettore protagonista del progetto è l'XL5 – 50, ultima generazione di iniezione diretta¹ a benzina per un'importante casa automobilistica. Il reparto in cui avviene la progettazione degli iniettori ad alta pressione è l'R&D, in cui sono stata introdotta come risorsa di supporto al progetto nella predisposizione della documentazione progettuale e nel monitoraggio delle diverse fasi in cui è stato suddiviso il progetto.

2. Vitesco Technologies

Vitesco Technologies è un'azienda fornitrice di sistemi e componenti per la trasmissione e propulsione nel settore automotive. Nasce dalla divisione Powertrain di Continental nel Settembre 2019. La divisione Powertrain è stata trasformata in una società indipendente a causa dell'evoluzione che subirà il mercato dei powertrain nei prossimi anni. Si è certi di tale evoluzione in quanto determinata in gran parte dagli obiettivi dei governi volti alla riduzione delle emissioni. Il 16 Settembre 2021 l'azienda ha debuttato sul mercato azionario alla Borsa di Francoforte. Ad oggi dispone di oltre 50 stabilimenti di produzione e R&D in tutti i mercati e impiega oltre 42.000 persone in tutto il mondo. La società ha sede a Regensburg, in Germania.

2.1 San Piero a Grado

Lo stabilimento di Pisa è ripartito in due siti industriali, uno a Fauglia (headquarter del sito di Pisa) e l'altro a San Piero a Grado, distanti tra loro circa 20 km. San Piero rappresenta il centro di Ricerca e Sviluppo per gli iniettori a benzina ad alta pressione. In questa sede ci sono i laboratori di qualità, l'area di testing e di validazione.

2.2 Sample Lab

La sala campioni è un laboratorio dove si assemblano per conto dei clienti dei lotti di prototipi/campioni, seguendo specifiche diverse da quelle dei prodotti destinati alla produzione. Le attrezzature impiegate sono manuali, tutte le fasi sono eseguite dagli operatori. Inoltre il reparto è dedicato alla preparazione spedizioni al cliente. Le figure con cui mi sono interfacciata maggiormente durante l'attività di tirocinio sono state il Responsabile SL e Tool Shop, il coordinatore del SL e la logistica del SL.

¹ L'iniezione diretta è un sistema di alimentazione che permette di immettere il combustibile direttamente nella camera di combustione dei motori a combustione interna.

3. Obiettivo della tesi

Lo scopo del progetto di tesi è quello di effettuare un'analisi di miglioramento degli strumenti a disposizione del Project Manager che consentano di ottenere informazioni esaustive e precise. Il mio supporto si è concretizzato nel material planning, in particolare nelle azioni atte alla pianificazione dei materiali in modo che siano sempre disponibili per l'assemblaggio campioni da spedire al cliente. In particolare, ho creato un database per gestire il flusso di componenti approvvigionati. Parallelamente al processo di approvvigionamento, è stato necessario costruire un database per la gestione interna degli iniettori riqualificati, file di supporto alle verifiche svolte dal reparto engineering.

4. Progetto 500 bar

Il progetto 500 bar è un progetto globale che riguarda lo sviluppo dell'iniettore omonimo in diverse applicazioni per adattarsi alla geometria del motore del cliente. Tale iniettore ha un regime di funzionamento che, come compare nel nome, prevede una pressurizzazione fino a 50 Mpa.

Nel Marzo 2018 Vitesco Technologies ha avuto il primo contatto con il cliente che nel Dicembre 2018 ha fornito all'azienda una specifica tecnica. Ogni item della specifica cliente è stato riportato in un file Excel, denominato "Deviation list". Per ogni item c'è una deviazione con indicato un livello di priorità e uno status. Nel Marzo 2019 c'è stato il primo incontro con il cliente, a cui si sono succeduti una serie di meeting fino a Settembre 2019 quando si è svolto un incontro conclusivo in cui è stato fatto il freezing del progetto.

Questi due documenti, la specifica cliente e la deviation list, convergono in altri due documenti fondamentali (come riportato in Fig.1):

1. *Disegno*: il disegno dà tutte le info su quello che l'azienda vende. È un elemento contrattuale; Vitesco Technologies garantisce quello che c'è scritto a disegno. Se l'iniettore rispetta i requisiti a disegno, ma c'è qualche problema a livello motore, può significare che il cliente e l'azienda non hanno definito tutti i parametri necessari al corretto funzionamento dell'iniettore;
2. *Specifica iniettore Vitesco Technologies*: questa specifica rappresenta lo sviluppo delle informazioni contenute nella specifica cliente.

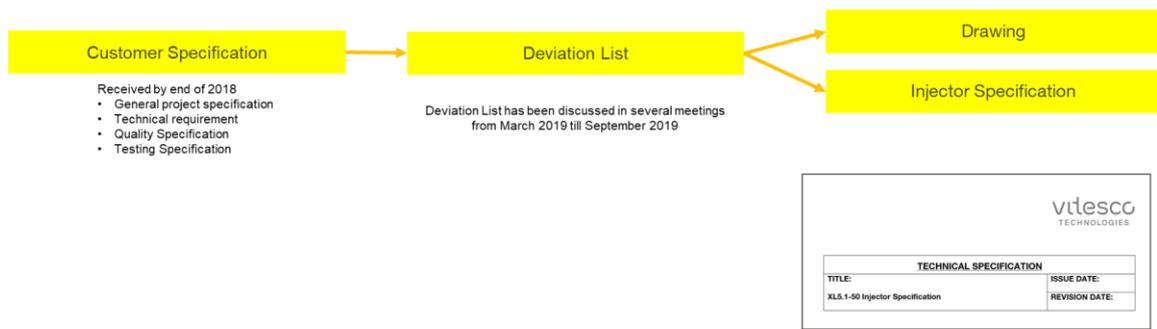


Figura 1 – Flusso documentale durante l’acquisizione del progetto

In Fig.2 vediamo il project timing delle milestone di progetto generali (dettate dal cliente) e i gate interni all’azienda.

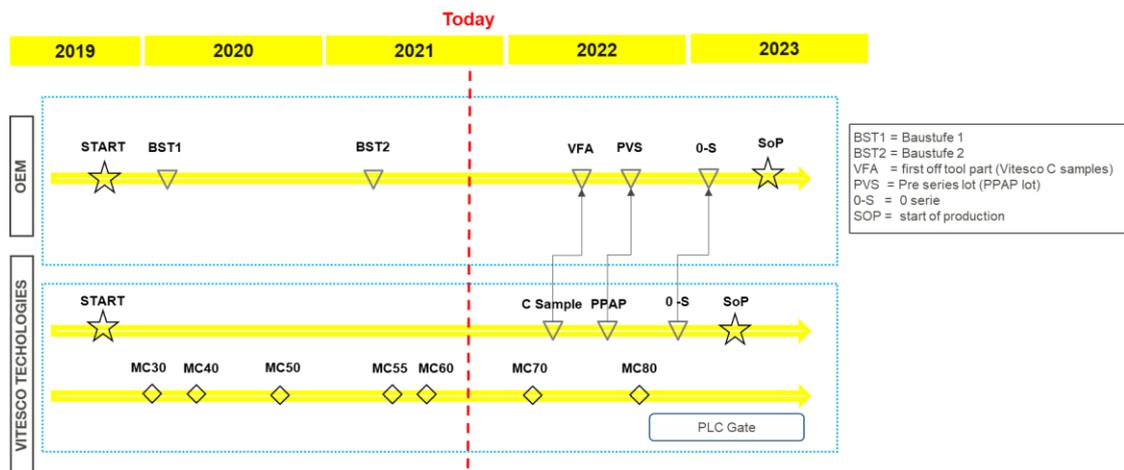


Figura 2 – Project Timing

Come si può notare, nel Gantt di progetto ci sono quattro categorie consecutive di campioni che vengono utilizzate. In una prima fase si inviano i campioni (A-sample). Il design è molto vicino a quello che sarà in serie, ma sono possibili ancora cambiamenti e non necessariamente i componenti sono approvvigionati dal fornitore di serie. Successivamente ci si sposta verso i B-sample con design più vicino a quello di serie e i componenti sono approvvigionati da fornitori che producono con un processo simile a quello che utilizzeranno per la serie, ma non ancora definitivo. I C-sample rappresentano quasi del tutto l’output del processo di serie, tranne alcuni particolari. Finalizzano la fase di preproduzione e servono a verificare che tutte le specifiche cliente siano adempiute. Sono utilizzati per il Product Validation (PV). Affinché si evolva lo stato dei campioni, ci sono dei requisiti che devono essere smarcati. La produzione PPAP costituisce un prerequisito per avviare la produzione in serie. La differenza tra le parti PPAP e i prototipi è che i PPAP vengono creati da una linea di produzione in serie, mentre i prototipi da una specifica linea di produzione prototipale. Poiché i prototipi non fruiscono dell’economia di scala del processo di produzione in serie, sono caratterizzati da costi molto elevati e da tempi di consegna nettamente superiori. Non

appena i PPAP sono completamente approvati dal cliente, i componenti passano dalla fase di campionamento a quella ordinaria di produzione in serie.

5. Product Life Cycle (PLC)

Il PLC definisce le fasi della vita di un prodotto, nasce con l'idea di prodotto e termina con la sua consegna. Si compone di nove fasi, ciascuna delle quali rappresenta un gruppo di attività (come riportato in Fig.3).

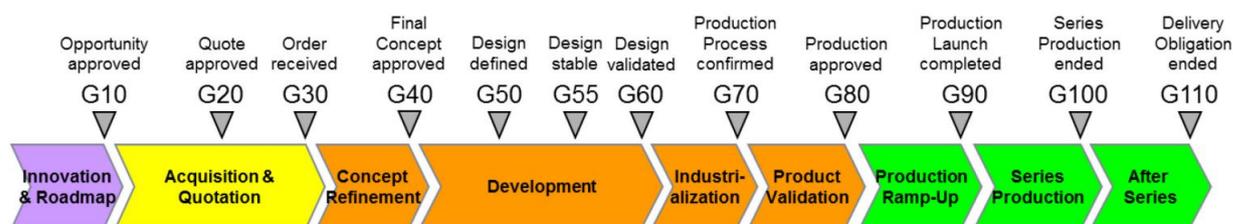


Figura 3 – Product Life Cycle (PLC)

5.1 Gate 55 – Design Stable

Per il progetto 500 bar è stato elaborato un progetto generico tramite il quale si segue lo sviluppo base dell'iniettore, iniziato prima dell'acquisizione della commessa del cliente. L'iniettore viene poi customizzato sulla base del progetto applicativo. Il progetto generico si ferma al G60 ("Design validated"), l'altro prosegue fino all'industrializzazione. In questo caso è stato unificato il progetto generico con quello applicativo, allineando i gate di entrambi. Questo approccio di unificazione non è stato possibile per il G55, che autorizza la partenza del Design Validation (DV). Nella revisione del questionario della milestone del progetto applicativo sono stati riscontrati, in corrispondenza ad alcune Key Questions, dei "NOT OK". Davanti alla possibilità di posticiparlo, oppure discuterlo e far diventare il gate rosso o giallo con follow up, si è optato per una discussione, come da procedura. In questo caso la proposta del team verso lo steering committee è stata quella di discutere il gate, di giudicare lo status come GIALLO e di pianificare un follow up. La soluzione proposta è stata accettata. Questo è stato possibile perché:

- non c'era la possibilità di impatto sul G60
- non c'era la possibilità di impatto sulle milestone del cliente
- era presente un piano di azioni per la risoluzione del problema concordato e in corso.

Il G55 del generico, che ha alcune domande in meno rispetto al progetto applicativo, è stato chiuso insieme al G50 del generico e dell'applicativo. Ciò ha consentito l'autorizzazione a partire con il DV.

6. Gestione campionature cliente

Il processo dei samples è costituito da diverse fasi:

- ricezione ordine da cliente
- kick-off meeting
- riunione settimanale “Approvvigionamento materiale campioni”
- spedizione al cliente.

Il cliente invia l'ordine che viene ricevuto dal Project Manager. Viene svolto un kick off meeting dove è essenziale la figura del coordinatore del Sample Lab. Viene verificata la fattibilità della richiesta cliente rispetto alla capacità del Sample Lab. A questo punto il reparto logistica, in collaborazione con gli acquisti, entra a far parte del processo. Devono essere ordinati i quantitativi di componenti necessari per l'assemblaggio. I lotti richiesti dal cliente verranno spediti nelle settimane concordate.

6.1 Descrizione del database

La necessità di creare il database nasce dalla specificità del processo campioni e dalla limitata quantità di componenti in gioco, nonostante esista in azienda un sistema collegato a SAP che restituisce l'informazione delle quantità disponibili. È stato previsto di fare un controllo settimanale delle quantità a stock in modo da ordinare il giusto quantitativo ai fornitori, evitando di fare un unico ordine iniziale che coprisse la previsione degli ordini richiesti dal cliente. Per creare il database è stata fondamentale la fase di raccolta dati da due fonti principali, un file Excel di supporto compilato dal Team Logistica del SL e le informazioni comunicate dal coordinatore del SL. Il file Excel di supporto che ho creato è una semplice tabella da riempire contenente le seguenti informazioni (come riportato in Fig.4):

- *nome dei componenti*, dei quali deve essere riportata la quantità a stock;
- *Part Number*, con il quale si identifica il componente;
- *quantità a stock*.

L'informazione dello stock è comprensiva delle quantità presenti in Incoming e in Sample Lab. I primi sono componenti che sono stati “ingressati”, cioè immessi nel sistema; quelli in Sample Lab sono prossimi all'utilizzo. Oltre all'informazione della quantità totale, sono precisate nelle note le quantità in controllo o in quarantena. I componenti in quarantena sono quelli attualmente non utilizzabili, che devono subire rilavorazioni o sono destinati all'area scarti. I componenti che richiedono una lavorazione (foratura ad esempio) prima di essere assemblati, devono essere tracciati anche all'interno del Tool Shop (officina

meccanica), area in cui viene fatta la produzione di componenti e quindi dove sono presenti torni, trapani, etc., come quantità esistenti, ma in corso di lavorazione.

Components	Part Number	Stock				
		Incoming	SL	TS	Quarantena / Controllo	TOT.
MPG						
O-Ring Adapter						
Pole Piece Coated						
Ball						
HDD						
Armature Coated forate						
Armature Coated						
Needle						
Valve Body						
Seat						
Clip						

Figura 4 – File di registrazione delle quantità a stock

Una volta compilato il file e inviati via mail, il primo passo da fare è verificare la presenza di componenti in controllo o in quarantena. Nel caso siano presenti, in relazione ai componenti make², è necessario chiedere la situazione aggiornata al reparto componenti. Per i componenti buy è necessario rivolgersi al reparto Engineering. Questa verifica è fondamentale per avere un quadro chiaro e aggiornato dei componenti effettivamente utilizzabili. Alla riunione settimanale partecipano tutti i membri del team allargato di Project Management: Logistica, Acquisti, reparto Componenti (Fauglia), Engineering. L'aggiornamento del database è svolto ogni due settimane, ma le situazioni critiche (ritardo di consegna merce, criticità tecnica, ...) sono individuate periodicamente. Inoltre il coordinatore del SL comunica gli iniettori che sono stati assemblati e non ancora spediti e la quantità di sub – assemblati. Il database che ho creato riceve in input informazioni contenute in due tabelle. La prima (riportata in Fig.5) contiene gli ordini ricevuti dal cliente, la seconda è una copia della prima e contiene gli iniettori già disponibili (informazione ottenuta dal file sopra citato) assemblati e non spediti e spediti. Nella prima tabella non viene tenuto conto solo degli ordini del cliente, ma anche delle campionature interne per i test del reparto engineering.

Spedizioni - Inj da costruire									
Batches		Order ID	TBT	Qty tot		CW42	CW43	CW44	CW45
Other batches (serie generiche)					0				
BST2	CONF kick off				0				
BST0	CONF kick off				0				
Limit Sample	CONF kick off				0				
BST1	kick off da fare				0				
TOT customer request					0				

Figura 5 – Database disponibilità componenti vs richieste del cliente

La prima tabella è stata creata osservando il piano di spedizioni concordato con il cliente nelle riunioni settimanali, in cui si indica la quantità di iniettori a settimana richiesti per ogni

² Il make or buy è la scelta di un'azienda o di un'organizzazione di costruire o di effettuare al proprio interno (make), oppure di acquistare all'esterno (buy), un componente, un prodotto o un servizio necessario alla produzione.

lotto. È stata poi creata una tabella per ciascun componente. I componenti che ho considerato in questo database sono i Make, i Buy e gli ICO³. Non ho tenuto sotto controllo lo stock dei componenti “carry over”⁴ in quanto non necessario. Ciascuna tabella (mostrata in Fig.6) riporta:

- *richiesta di componente cumulata*: rappresenta il quantitativo necessario per produrre la quantità di iniettori richiesti (cautelativamente maggiorata tenendo conto delle % di scarto);
- *ordini in arrivo / lotto di produzione*: si tiene conto del LT previsto dal fornitore per consegnare la merce oppure del LT di produzione e di controllo nel caso di componenti make;
- *disponibilità cumulata*: inizialmente è pari alla quantità disponibile e nei periodi successivi tiene conto delle previsioni del materiale in arrivo;
- *delta tra la richiesta cumulata e la disponibilità cumulata*.

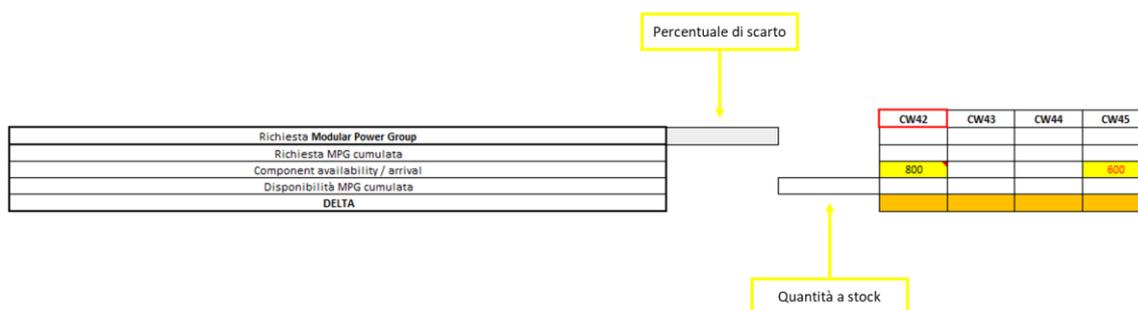


Figura 6 – Material Planning

Come input a ciascuna tabella ho riportata lo stock del componente. Ho tenuto sempre traccia dello stock di due settimane prima in modo tale che questo ci fornisca un riferimento da confrontare con il nuovo input.

L’ipotesi di base è il consumo regolare dei componenti da parte del laboratorio campioni, ma questo per ragioni di timing non accade. Il laboratorio si avvantaggia quando ha materiale disponibile. Ciò costituisce il limite del database che comunque mantiene la sua complessiva validità.

Per i componenti Make, è stato necessario il coordinamento settimanale con il reparto componenti di Fauglia. C’è stata una decisione congiunta sulla production schedule, ovvero quando fossero previsti i run dei componenti make.

³ ICO (Intercompany Business): gestione del flusso di componenti provenienti da aziende appartenenti al gruppo Vitesco Technologies.

⁴ “carry over” o “current production”: pezzi derivanti da un altro progetto attualmente in produzione.

6.2 Calcolo delle percentuali di scarto

Per procedere con il calcolo delle percentuali di scarto sono state analizzate le caratteristiche di 4 lotti da circa 50 iniettori ciascuno per avere un campione significativo. Dall'analisi è emerso che una certa percentuale di componenti viene scartata durante il processo di assemblaggio dei sotto assemblati (vengono scartati i componenti che lo costituiscono), il processo di assemblaggio, il processo di testing (errori di calibrazione, perdite di leak, spray non adeguato) e il controllo visivo finale (cfr. con Fig.7). La quantità che deve essere ordinata, tenendo conto delle percentuali di scarto generate durante il processo, può essere ottenuta come esplicitata nella formula seguente:

$$\text{Quantity to be ordered: } \frac{1}{1 - \text{Total Scrap}}$$

Dove

$$\text{Total Scrap} = \% \text{ scrap APB} + \% \text{ scrap Assy} + \% \text{ scrap Test} + \% \text{ scrap Visual}$$

	APB	Assy (w/out MPG)	Test	Visual	Total	Qty to be ordered
Richiesta Modular Power Group						100%
Richiesta Ball coated						100%
Richiesta Spring Clip						100%
Richiesta Armature cromata						100%
Richiesta Valve Body						100%
Richiesta O-Ring Adapter						100%
Richiesta Pole Piece cromata						100%
Richiesta Needle Pin						100%
Richiesta Hydro Disc Damper						100%
Richiesta Seat						100%

Figura 7 – Calcolo delle percentuali di scarto

7. Processo di approvvigionamento del materiale di Debug & PPAP

Gli ordini ai fornitori sono necessari a coprire non solo i campioni da spedire al cliente e le campionature interne: infatti una parte di essi è destinata al debug. In questo caso si pensa ai processi e alle macchine che dopo l'installazione hanno bisogno di un certo periodo di "fine tuning" per poter raggiungere l'efficienza richiesta da una produzione industriale. All'interno della pianificazione dell'approvvigionamento dei componenti abbiamo, da un certo punto in poi del progetto, una sovrapposizione delle demand per i campioni e quelle per il debug. Per il debug si possono utilizzare anche componenti ritenuti scarti dopo i controlli (danneggiamenti, dimensionali fuori tolleranza, etc.). La prima produzione di PPAP (Production Part Approval Process) può avvenire solo dopo l'accettazione delle linee; è la "readiness" di tutto il sistema produttivo, non solo delle macchine, ma anche la gestione della documentazione, delle richieste del cliente, del packaging e dell'etichetta, il corretto

ingressaggio della merce, la sua registrazione a sistema, la presenza di checklist di produzione, etc.

Un passo determinante per il successo del processo di PPAP cliente è l'approvazione del PPAP ai fornitori; in pratica il fornitore deve sottomettere i componenti rappresentativi della produzione di serie, in accordo alla specifica, e la relativa documentazione, con i risultati delle misure/validazioni richieste e della documentazione di processo produttivo concordata. Sulla base dei risultati ottenuti e sulla documentazione ricevuta dal fornitore si può definire se si può procedere o meno.

Dal momento in cui c'è l'autorizzazione a procedere, si ottiene l'MLC70: quei componenti sono autorizzati a essere utilizzati in produzione.

Per la gestione della demand del materiale sopramenzionato ho creato un ulteriore database (come riportato in Fig.8) per coordinare l'approvvigionamento dei componenti necessari.

Components	price/unit	Q.ty	LT (CWs)	Delivery date CW	PO release CW	Total cost	Q.ty Debug	Debug cost	Q.ty samples & PPAP	Samples & PPAP	CR	Data CR	SC	Data SC	Ordine	Rilascio ordine	Consegna	NOTE	Consegna	
Needle pin																				
HDD																				
Ball																				
Armature chrome plated																				
PP chrome plated																				
ORA steel																				
VB steel																				
Seat																				
MPG																				
Spring clip																				
Plastic washer																				

0,00 € 0,00 € 0,00 €

Figura 8 – Database ordini di Samples, PPAP&Debug

8. Processo delle riqualifiche da cliente

Parallelamente alla validazione interna dell'azienda, il cliente OEM conduce la propria validazione. Regolarmente Vitesco Technologies riceve sets di iniettori che hanno svolto test motore o test veicolo che devono essere riqualificati, cioè ri-testati.

Questo avviene per due motivi:

- test per ri – valutare i parametri dopo i test sul motore effettuati dal cliente;
- test per capire le cause dei problemi riscontrati dal cliente in fase di test su motore.

Nel primo caso si parla di “analisi standard”, nel secondo caso di analisi di una failure.

8.1 Database interno delle riqualifiche

Ho creato un database per la gestione interna degli iniettori riqualificati (come riportato in Fig.9). Questo contiene un'analisi della curva di iniezione (tempi di apertura – chiusura iniettore, velocità di apertura e chiusura), una parte più descrittiva sull'usura degli iniettori su cui è stato fatto il tear down (smontaggio dell'iniettore) e una parte di funzionali⁵.

⁵ Parametri di risposta funzionale dell'iniettore: portata statica, portata dinamica, curva d'erogazione, tenuta, spray, minima tensione di funzionamento, transitori meccanici d'apertura.

