

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione

Master of Science in Management Engineering



Lean Management in ETO sector: challenges and solutions

Supervisor: Prof. Margherita Emma Paola Pero

Co-supervisors: Prof. Violetta Giada Cannas

Prof. Rossella Pozzi

Master Graduation Thesis by:

Albanese Saverio - 946414

Academic Year 2020/2021

Index

Abstract	9
Abstract (<i>Italiano</i>)	10
Executive Summary	11
1. Introduction	29
2. Background	32
2.1. Lean production	32
2.1.1. Toyota Production System (TPS)	32
2.1.2. Lean manufacturing	33
2.1.3. Lean practices	34
2.2. Engineer to order business environment	38
2.2.1. Customer order decoupling point	38
2.2.2. Engineer to order fulfilment strategy	39
2.2.3. Two-dimensional customer order decoupling point	40
2.3. Lean in the ETO business environment	41
3. Systematic literature review	43
3.1. Overview	43
3.2. Material collection	44
3.2.1. First step: Keyword extraction and Title screening	44
3.2.2. Second step: Analysis of the full body of the papers	46
3.3. Descriptive analysis	51
3.4. Thematic analysis	52
3.4.1. Industry distribution	52
3.4.2. Research Questions findings	53
3.4.3. Additional findings	59
3.5. Insights on SLR results	60
3.5.1. What can machinery learn from construction?	60
3.5.2. Practices rarely or never implemented	62
3.5.3. Variability management and reduction	62

3.5.4. Variables affecting lean practices implementation	63
3.6. Potential literature gaps	64
4. Methodology	65
4.1. Theoretical framework	65
4.1.1. Qualitative research	65
4.1.2. Case study design	65
4.2. Context of analysis	67
4.2.1. Machinery industry	67
4.2.2. Italian machinery industry	68
4.3. Sampling process	69
4.4. Data gathering	70
5. Case studies results and insights	71
5.1. Overview of the case studies	71
5.2. Single case analysis	72
5.3. Cross-case analysis	103
5.3.1. Preamble	103
5.3.2. RQ1 - Practices and adaptations	106
5.3.3. RQ2 - Challenges	125
5.3.4. RQ3 - Variability	135
6. Discussion	142
6.1. Presentation of the answers to the Research Questions	142
6.2. Benchmark between case studies and systematic literature review	147
7. Conclusions	148
Bibliography	150
Annex	164

Table index

Table 1. Reference list of bundles and related practices - Bai et al. (2019) [Executive Summary]	12
Table 2. Overview of the research sample [Executive Summary]	20
Table 3. Companies' attributes [Executive Summary]	22
Table 4. Most and least implemented practices [Executive Summary]	23
Table 5. Most and least challenging practices [Executive Summary]	25
Table 6. Variability clusters [Executive Summary]	26
Table 7. Summary of the main empirical findings [Executive Summary]	27
Table 8. The comprehensive listing and bundles of Lean manufacturing practices - Bai et al. (2019)	37
Table 9. Numerical results of queries performed in Scopus	45
Table 10. Numerical results of queries performed in Web of Science	45
Table 11. Papers resulting from the material collection phase	50
Table 12. Italian machinery sector for the triennium 2018-2020 - Gruppo Statistiche Federmacchine	68
Table 13. Case studies - AIDA at 10/06/2020	71
Table 14. Classification of companies based on the Theoretical basis attribute	104
Table 15. Classification of companies based on the Structured Lean attribute	104
Table 16. Reference table for RQ1 analysis	107
Table 17. Practices' ranking based on the quantitative scoring	113
Table 18. Bundles' ranking based on the quantitative scoring	114
Table 19. Summary of companies' attributes	115
Table 20. Symbol and colour code for the correlation analysis	116
Table 21. Symbol-colour code used for each company	116
Table 22. Lean practices and selected attributes	117
Table 23. Clusters based on the "sufficient condition"	118
Table 24. Correlation insight for the Supplier bundle	119
Table 25. Correlation insight for the Production planning and control bundle	120
Table 26. Correlation insight for the Process technology bundle	120
Table 27. Correlation insight for the Workforce bundle	121
Table 28. Single companies' scoring	121
Table 29. Cells showing challenges	126

Table 30. Number of challenges for each practice	130
Table 31. Number of challenges according to the implementation degree of practices	132
Table 32. Number of challenges and selected attributes	133
Table 33. Implementation degree of challenging practices and selected attributes	134
Table 34. Variability management and reduction purposes	136
Table 35. “Management” and “Variability” occurrences for each practice	137
Table 36. Practices’ clusters according to variability management and reduction purposes	138
Table 37. Bundle perspective for variability analysis	140
Table 38. Variability purposes and selected attributes	140
Table 39. Summary of the main empirical findings	146
Table 40. Benchmark for the 7 most implemented practices	147
Table 41. Benchmark for the 7 least implemented practices	147
Table 42. Benchmark for the 7 most adapted practices	148
Table 43. Benchmark for the 7 most challenging practices	148

Graph Index

Graph 1. Bundles implementation [Executive Summary]	15
Graph 2. Temporal distribution of papers	51
Graph 3. Most frequent sources	51
Graph 4. Research methodologies adopted	52
Graph 5. Most frequent industries	52
Graph 6. Bundles implementation	53
Graph 7. Supplier bundle's practices implementation	54
Graph 8. Production planning and control bundle's practices implementation	54
Graph 9. Process technology bundle's practices implementation	55
Graph 10. Workforce bundle's practices implementation	55
Graph 11. Overview of practices adaptations	56
Graph 12. Generic challenges with their occurrence	57
Graph 13. Specific challenges with their occurrence	57
Graph 14. Lean practices and other techniques explicitly aimed at reducing or managing variability	58
Graph 15. Primary focus of papers	59
Graph 16. Pilot implementations	59
Graph 17. Design phase involvement	59
Graph 18. Success rate of lean techniques	59

Figure index

Figure 1. Structure of the thesis work	31
Figure 2. The typical house of TPS - Lean Enterprise Institute	32
Figure 3. The 5 principles' cycle - Lean Enterprise Institute	34
Figure 4. CODP positionings - Wikner and Rudberg (2005)	38
Figure 5. Factors affecting the CODP positioning - Olhager (2003)	39
Figure 6. 2D-CODP framework - Cannas et al. (2019)	40
Figure 7. Moderation and configuration role in the ETO context - Birkie and Trucco (2016)	41
Figure 8. Steps of the systematic literature review	43
Figure 9. Case study design choices - Yin (2013)	66
Figure 10. Main business activities of a machinery-building company - Adrodegari et al. (2015)	67
Figure 11. Positioning in the 2D-CODP framework of company 1	73
Figure 12. Positioning in the 2D-CODP framework of company 2	78
Figure 13. Positioning in the 2D-CODP framework of company 3	82
Figure 14. Positioning in the 2D-CODP framework of company 4	86
Figure 15. Positioning in the 2D-CODP framework of company 5	89
Figure 16. Positioning in the 2D-CODP framework of company 6	92
Figure 17. Positioning in the 2D-CODP framework of company 7	96
Figure 18. Positioning in the 2D-CODP framework of company 8	101
Figure 19. Turnover - Employees matrix	103
Figure 20. Research sample positioning in the 2D-CODP framework	105

Abstract

Lean manufacturing is a management style aimed at simplifying work by hunting and eliminating waste, where wastes concern activities which absorb resources without creating value. Lean thinking is deep-rooted in the Toyota Production System (TPS), thus conceiving the automotive industry as its native scenario. By implication, the mass production is typically considered a precondition for Lean adoption, although in the last decades change is coming. Indeed, this paradigm is ever more targeted by non-repetitive environments like engineer to order (ETO) companies.

Accordingly, the dissertation aims at investigating whether lean practices can perform also in an ETO scenario, by also deepening adaptations they need undergoing to better suit the new context. Meanwhile, the thesis also targets challenges faced by ETO companies while implementing lean techniques, whose variability management and reduction purposes are part of the assessment too.

Thus, a systematic literature review was firstly performed to fix such thematic issues. Results mainly reveal a low maturity level of literature about Lean in ETO companies, although the number of papers in recent times unfolds a growing interest towards the topic. Systematic review was then complemented by an empirical research methodology, as to investigate Lean in ETO contexts from a different perspective.

A case study was indeed performed by carrying out semi-structured interviews to eight companies belonging to the Italian machinery industry. Results argue that 28 out of 29 lean practices were implemented at least once in the research sample, although they show different occurrences and adoption extents. Plus, specific companies' attributes seem to impact the usability of some lean practices, and remarkable ETO adaptations are discussed too. Beyond this, techniques registered multiple implementation challenges, and a classification of practices according to variability reduction or management purposes was outlined as well.

As further research, it would be interesting to validate empirical findings obtained with a broader and multi-sector sample, by also assessing quantitatively Lean benefits in ETO companies.

Abstract (*Italiano*)

Il Lean manufacturing è uno stile di produzione volto a semplificare il lavoro attraverso la ricerca e l'eliminazione degli sprechi, ovvero attività che consumano risorse senza creare valore. Il pensiero Lean affonda le sue radici nel Toyota Production System (TPS), definendo così l'industria automobilistica come suo scenario di origine. La produzione di massa è quindi tipicamente considerata un requisito per l'adozione del Lean, sebbene di recente qualcosa stia cambiando. Infatti, tale approccio è sempre più utilizzato in ambienti non ripetitivi quali le aziende ETO.

Pertanto, la tesi si pone l'obiettivo di indagare se le pratiche lean possono essere applicate anche in un contesto ETO, approfondendo anche gli eventuali adattamenti necessari. Inoltre, la tesi esamina anche le difficoltà che insorgono nelle aziende ETO durante l'uso di tecniche lean, così come la conseguente gestione o riduzione della variabilità.

È stata quindi inizialmente eseguita una revisione sistematica della letteratura per rispondere a tali quesiti. I risultati, in generale, rivelano una scarsa letteratura sul Lean nelle aziende ETO, anche se il recente numero di articoli dimostra un crescente interesse. La revisione sistematica è stata poi affiancata da un'analisi empirica, così da indagare il Lean in contesti ETO da una diversa prospettiva.

È stato infatti svolto un caso di studio intervistando otto aziende appartenenti all'industria meccanica italiana. I risultati dicono che 28 pratiche su 29 sono state implementate almeno una volta nel campione di ricerca, sebbene mostrino diverse frequenze e livelli di adozione. Inoltre, specifici attributi delle aziende sembrano avere un impatto sull'utilizzo di alcune pratiche lean, e interessanti ETO-adattamenti sono stati altrettanto discussi. Le tecniche hanno poi riscontrato molteplici difficoltà, ed è stata anche realizzata una classificazione delle pratiche sulla base della conseguente riduzione o gestione della variabilità.

Attraverso ulteriori ricerche, sarebbe interessante validare i risultati empirici ottenuti con un campione più ampio e multisettoriale, analizzando anche quantitativamente i benefici del Lean manufacturing nelle aziende ETO.

Executive Summary

Introduction

ETO companies achieve a competitive advantage by understanding customer requirements, by translating them into product specifications and by integrating components and subsystems into products (McGovern et al., 1999). Such business environment is the polar opposite of the repetitive and mass production one, which is generally conceived as the native scenario of Lean manufacturing, a system centred on preserving value with less work (Prashar, 2014). Wherefore, the transposition of lean principles and practices into the ETO competitive arena offers a fascinating and challenging research topic, since this new context may prevent, allow, or adapt typical lean techniques. In this regard, the thesis work will go through three Research Questions:

- RQ1: (a) *What are the lean practices applied in ETO companies?* (b) *How are these practices applied?*
- RQ2: *What are the main challenges ETO companies encounter in implementing lean practices?*
- RQ3: *How do these practices support variability reduction and variability management?*

The methodology adopted to answer RQs is two-folded, since a systematic literature review (SLR) will be coherently complemented by a multiple case study to gather empirical evidence of Lean in ETO companies.

Plus, the potential impact that some companies' attributes may have on lean practices implementation will be discussed alongside the thesis work. Such variables were selected by looking at previous research and are:

- Large companies: company size, which is assessed according to some reference parameters.
- Theoretical basis: companies rely on strong theoretical lean basis
- Structured Lean: companies apply and develop techniques in a conscious and structured way by presenting a project of continuous development or even a dedicated manager/department for Lean

Background

Lean manufacturing

Lean manufacturing (sometimes called "Lean production" or simply "Lean") is 'an integrated socio-technical system whose main objective is to eliminate waste by concurrently reducing or minimising supplier, customer, and internal variability' (Shah and Ward, 2007). It was pioneered by Toyota in Japan, where some

managers set up the "Toyota Production System" (TPS) in the 1950s and 1960s, and that paradigm was then made worldwide known by the seminal books *The Machine that Changed the World* (Womack et al., 1990) and *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* (Womack and Jones, 1996).

Lean Thinking “distils the essence of the lean approach into five key principles” (Hines and Taylor, 2000), which were ultimately outlined by Womack and Jones (1996): Identify value, Map the value stream, Create flow, Establish pull and Pursuit of perfection. Lean manufacturing is therefore aimed at simplifying work by hunting and eliminating wastes (*muda* in Lean lingo), and the “Seven Wastes” defined by Ohno (1988) still represent the reference model for many academic approaches: waiting, over-production, defects, motion, over-processing, unnecessary inventory and excessive transportation.

Lean manufacturing principles are operatively converted into different practices, which are commonly clustered in peculiar bundles. Accordingly, throughout the thesis work, the reference list of lean bundles with relative practices is the one proposed by Bai et al. (2019).

Lean Bundle	Lean Production Practice
Supplier	Feedback to suppliers
	JIT delivery by suppliers
	Supplier involvement in design
	Lean supplier development
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation
	Setup reduction
	Smoothed (levelled) production (heijunka)
	Total Productive Maintenance
	Visual management of production control
	Feedback on performance metrics
	Total Quality Management
	Statistical process control
	Root cause analysis for problem solving
Process technology	Visual management of quality control
	Autonomation (Jidoka)
	Continuous flow (one-piece-flow)
	Cellular manufacturing, Layout size and shape
	Concurrent engineering
	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability
	Visibility and information exchange
	Process improvement/ Kaizen
	Value identification
Workforce	Teamwork and leadership
	Multi-functionality and cross-training
	Workforce recognition and reward
	Continuous improvement
	Workplace housekeeping
Customer	Standardized work
	Customer involvement

Table 1. Reference list of bundles and related practices - Bai et al. (2019)

ETO business environment

The Customer Order Decoupling Point (CODP) splits the goods' flow into forecast driven activities and customer order driven ones (Giesberts and van den Tang, 1992). The CODP was initially developed only for the production process, and according to its position along the value chain four main order fulfilment strategies can be identified (Wortmann, 1983): Make to stock (MTS), Assemble to order (ATO), Make to order (MTO) and Engineer to order (ETO).

Hence, the most upstream positioning of the CODP concerns the ETO model, namely a production system in which the design, engineering and production do not start until the validation of a customer order (Powell et al., 2014). In the ETO business arena, products are customer-specific and realized in low volumes, whilst processes are typically non-repetitive, labour intensive and often demanding highly skilled manpower (Powell et al., 2014).

Again referring to the ETO context, Wikner and Rudberg (2005) introduced a second variable to the unidimensional CODP framework mentioned before, i.e. the Engineering process, thus generating a two-dimensional customer order decoupling point (2D-CODP). Alongside the upcoming case studies, the relating framework proposed by Cannas et al. (2019) will be used (see Section 2.2.3).

Lean in the ETO business environment

Although lean principles could be 'universally applied' (Womack and Jones, 2003), the low repetition frequency of similar or equal products and the high variance of manufacturing processes make Lean implementation in ETO companies quite challenging (Braglia et al., 2019a). Many practitioners claim that evidence on Lean applicability in such environment is yet to be found, thus recommending further empirical research (e.g. Gosling and Naim, 2009). Indeed, even though the number of papers investigating this theme has increased in the last few years (Eriksson, 2010), literature is still limited when likened to Lean in mass production or batch type systems (Birkie and Trucco, 2016).

Systematic literature review

The systematic literature review (SLR) grounds on a tight and well-defined approach aimed at revising the existing literature for a specific topic (Vom Brocke et al., 2009), and steps performed in this thesis work were the ones proposed by Ciccullo et al. (2018):

- Material collection
- Descriptive analysis
- Thematic analysis

Material collection

Databases selected were Scopus (Elsevier) and Web of Science, and concurrently two sets of keywords were required. The first one considered the Lean theme, thus including: “lean”, “Toyota Production System”, “TPS”, “World Class Manufacturing” and “WMC”. On the other hand, the second bunch injected the ETO business scenario, and concerning terms were: “engineer-to-order”, “ETO”, “one-of-a-kind”, “non-repetitive”, “design-to-order” and “HMLV”.

Once a set of 143 papers was obtained, “title screening” (first step) was performed, meaning that titles were examined to check the adherence to the research topic. The output was a list of 124 papers.

Subsequently, the second step of material collection phase consisted in the “abstract and full paper screening”, whose exclusion criteria were: ‘full content access denied’, ‘articles without direct focus on Lean implementation in ETO industry’ and ‘books, conference and white papers’. The outcome was a pool of 63 papers, which definitely set up the final list of articles for the SLR.

Descriptive analysis

Papers ranges from 2012 to 2020. More in details, few papers were published in 2012 and 2013, while upon 2014 the average number of publications raised up, thus revealing a growing academic interest.

Turning to the articles’ sources, a widespread range of journals and conference proceedings has emerged. Anyway, the higher number of articles (5) is registered by *IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

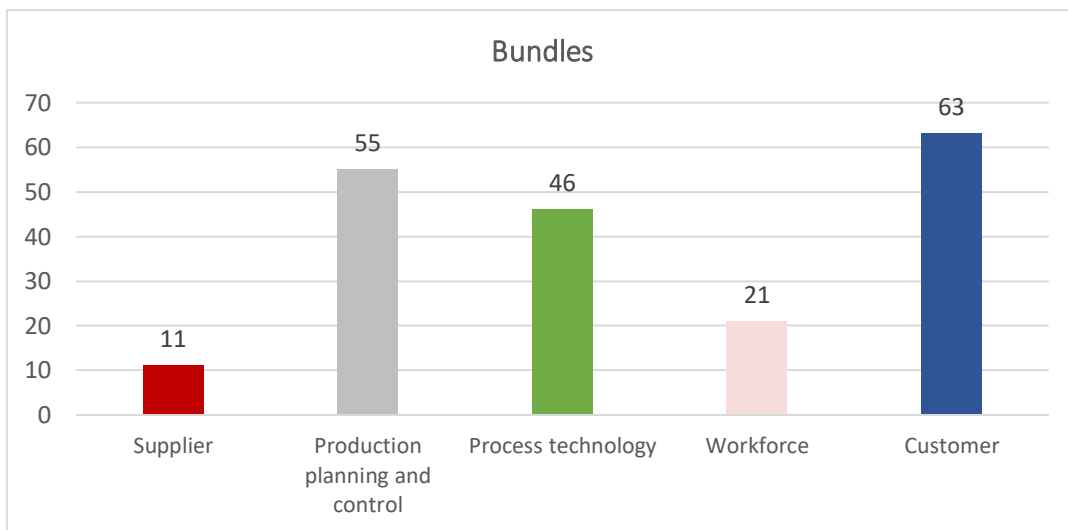
Simultaneously, about the research methodology, most of the articles (59 papers) follow an empirical approach (e.g. case studies, design science research and action research). Conversely, theoretical papers are very few (4 papers), counting 3 conceptual frameworks and 1 literature review.

Thematic analysis

As concerns the industries covered by papers, the most frequent one is *construction* (31 papers), which is followed by *machinery and equipment* (18 papers). Besides, other sectors exhibit lower occurrences.

RQ1a: *What are the lean practices applied in ETO companies?*

For the following analysis, the reference list of bundles and practices is the one presented before (Table 1). Starting from a broader perspective, a paper is intended to adopt a bundle when at least one practice coming from that specific bundle is adopted. In this light, the *Customer* bundle (which includes only the *Customer involvement* practice) is dealt by every paper (63 out of 63 papers). Indeed, it represents an intrinsic feature of the ETO business scenario, making its evaluation meaningless. Thereby, according to this exclusion, the bundle showing the highest number of occurrences is *Production planning and control* (55 papers).



Graph 1. Bundles implementation

Turning to a practice perspective, *Pull production/Takt time calculation* dominates the ranking with 38 occurrences, and podium is then completed by two techniques coming from the *Process technology* bundle, namely *Process improvement/Kaizen* (16) and *Parts standardization/Modularisation* (16). Another frequent practice is *Continuous improvement* (15), as well as *Visual management of production control* (15).

RQ1b: *How are these practices applied?*

RQ1b assessment leverages a strong assumption: a practice is considered "adapted" if specific adaptations or new suitable extensions/indicators are explicitly written or they are easily deductible from the text. Accordingly, the most adapted practices are *Pull production/Takt time calculation* (47% of occurrences), *Value identification* (44% of occurrences) and *Continuous flow* (46% occurrences). Other practices showing some adaptations are *Feedback on performance metrics* and *Root cause analysis for problem solving*, while most of techniques do not register any ETO adaptation/extension.

RQ2: *What are the main challenges ETO companies encounter in implementing lean practices?*

Likewise RQ1b, the RQ2 assessment grounds on the assumption according to which challenges registered are only those explicitly written in the text or easily deductible. Importantly, challenges detected are subdivided into two clusters, namely generic challenges (i.e. not related to any technique) and specific challenges (specific for a single practice).

Among generic challenges, the most frequent issue to deal with is the Human resistance/low commitment (8 papers), although it is quite usual for Lean implementation regardless of the environment. Further, the Intrinsic properties of ETO environment (i.e. high complexity and variability) represent the second most cited hurdle (4 papers).

Rather, lean techniques presenting the higher number of issues (i.e. papers dealing with their difficulties) are *Parts standardization/Modularisation* (6 papers) and *Pull production/Takt time calculation* (5 papers).

RQ3: *How do these practices support variability reduction and variability management?*

The answer to the third Research Question relies on the following assumption: variability management and reduction purposes are registered unless the word "variability" is explicitly written. By also detecting techniques not belonging to the reference list, the most used practice to cope with variability is the Last Planner System (LPS) with 13 papers, directly followed by *Parts standardization/Modularisation* (9 papers).

Beside Research Questions, the material collected offer other interesting insights. A first outcome is that 47 out of 63 papers have the lean practices implementation as its *primary focus*, while in the remaining 16 such techniques are a way to implement/achieve something else. Meanwhile, a *pilot implementation* in a wider

Lean entering path is mentioned only 6 times, and just 10 papers deal with Lean implementation in the *design phase*, albeit a crucial activity in the ETO business scenario. Finally, 48 out of 53 papers (10 articles are not judgeable as follows) exhibit a *successful implementation* of lean technique/s.

Insights on SLR results

First and foremost, a benchmark between construction and machinery industries turns out to be imperative, even though the last one has shown a higher Lean maturity. For instance, about *Pull production/Takt time calculation*, the concept of “control zones” is frequently used in construction papers (i.e. all trades have to shift from one control area to the next, working in each of these areas for the specific takt time selected) and might be transferred and properly adapted to the machinery and equipment industry, where the only remarkable ETO adaptation is an average takt time. Likewise, machinery can learn from construction another mechanism to deal with *Continuous flow*: instead of moving a single piece, the *one-piece-flow* might be obtained by processing a set of components at once.

On another note, some practices are never or rarely implemented. For instance, no papers deal with the *Visual management of quality control*, while only one introduces the *Autonomation (Jidoka)*. In addition, another rarely implemented practice is the *Workforce recognition and reward*.

It's also worthwhile establishing a distinction between practices resulting in a variability reduction and those solely allowing variability management. The first category includes the Last Planner System, the Introduction of a lean supermarket, the Use of visual devices and the Acting on production processes in terms of cycle time/batch reduction. Conversely, practices supporting companies to manage variability are the Frequent schedule updating/confirmation points and the BIM adoption. Simultaneously, some techniques enable to both reduce and manage variability, and they are Kaizen/continuous improvement and the Standardization/modularisation/platform-based approach.

Next, as concerns the potential impact of the three dimensions outlined in the Introduction, sometimes papers show references to Structured Lean and Theoretical basis, although a comparison between the presence and the absence of such dimensions is never carried out. On the other hand, the third variable finds an interesting match in a paper that explains how small and large manufacturing shops differ in introducing lean practices in their operations.

Potential literature gaps

To consolidate SLR results, potential literature gaps are gathered:

- Too few papers about machinery with respect to construction.
- Most papers focus on Lean implementation under an operational point of view rather than its strategic role.
- Too few papers deal with the Lean implementation in transactional activities, and in particular in the design phase, a crucial activity for ETO companies.
- Few implementations on practices belonging to the supplier bundle.
- Few implementations of practices belonging to the workforce bundle.
- Quite often papers do not explain how lean practices adopted affect variability management or reduction.

An empirical case study results complementary to the SLR, since it ensures to tackle Research Questions from a different perspective, and thus to empirically validate or disconfirm some gaps above reported.

Methodology

Theoretical framework

The second big path to answer Research Questions is the case study, a research methodology that falls into the broader set of “qualitative methodologies”, whose ultimate goal is to build new theory. Case study is defined as “an empirical inquiry that investigates a contemporary phenomenon within its real-life context, when the boundaries between phenomenon and context are not clearly evident and in which multiple sources of evidence are used” (Yin, 1981). More accurately, the case study performed in this thesis work is an explanatory one (i.e. grounds on theories and hypotheses to provide a contribution to the theory), consists in a multiple case study (namely more ETO companies will be evaluated) and the perspective adopted is the holistic one, since a single unit of analysis (practices list) is referenced.

Context of analysis

To gather more reliable and less biased data, the research scenario is limited to only one ETO sector. In addition, the goal is to draw a homogenous sample, which might enhance the analysis of selected lean practices and their adaptations, as well as the related challenges and variability impacts assessment.

The selected research context is the machinery industry. A first motivation comes from the SLR results, as it is the second most analysed sector, and the insights revealed a high and not-exploited yet potential in terms of Lean implementation.

More accurately, the case study was restricted to the Italian machinery industry, which counts more than five thousand companies and over two hundred thousand of employees. It is worth recalling that the “Made in Italy” label is worldwide appreciated, and this excellent status allows the country to play a leading role in the European scenario.

Sampling process

By exploiting the “AIDA” database, a list of Italian companies was extracted by setting the following filters:

- ATECO code: starting with “28”
- Turnover: between 1 and 100 million €
- Employees: between 20 and 500
- Activity description: must contain the word “machines”

Companies’ websites were progressively visited one by one, and those mentioning something about Lean (e.g. TPS, WCM, or other key words) were selected to be contacted. Although some companies did not reply and others refused, eight companies were ultimately found.

Data gathering

Due to the Coronavirus pandemic, interviews took place remotely by using dedicated platforms, i.e. Skype or Microsoft Teams. Indeed, only for the case study 1 we had the possibility to interview the referent on site.

Meetings conveyed semi-structured interviews, which concern a set of open-ended questions as a starting point to drive the discussion. Therefore, interviewers could go beyond the answer and provide further hints.

Case studies results and insights

Overview of the case studies

Companies belonging to the sample are briefly introduced by the following table:

Company ID	Headquarter (province)	Revenues [M€]	Employees*	Products	Referent/s
1	Milano	5,2 (2020)	40 (2020)	Robots and complete painting systems	Production Manager
2	Treviso	80,5 (2019)	150 (2019)	Machines for the production of chipboard panels	Industrial Process & Planning manager
3	Pordenone	95,3 (2019)	230 (2019)	Drilling and foundations machines and equipment	Production manager
4	Biella	18,6 (2020)	110 (2020)	Industrial dosing systems	Company chairman
5	Parma	82,9 (2019)	370 (2019)	Lifting and handling systems (elevators)	Industrial Engineering manager (+ HR Business Partner)
6	Milano	16,75 (2020)	60 (2020)	Machines for chip removal	Chief Operating Officer
7	Venezia	96,5 (2020)	400 (2020)	Industrial automation systems	Kaizen & Quality manager (+ Group Marketing Manager)
8	Bergamo	24,7 (2019)	160 (2019)	Industrial manipulators	Operation Manager

*rounded at the upper or lower boundary

Table 2. Overview of the research sample

Single case analysis

In this section, each company is quickly presented in terms of lean practices implemented, thus providing a baseline for the upcoming cross-case analysis.

Shortly, company 1 exhibits a medium Lean implementation level, although the *Workforce* bundle is wholly adopted. Moreover, it is performing a shift from Make to order to Finalize to order and from Major changes to Minor changes (2D-CODP framework). Likewise, a high number of ongoing developments were explained, thus revealing a substantial transitional phase towards Lean.

Company 2 registers a medium-low Lean implementation level, and even though the kanban might seem the sole implemented practice, the interview demonstrated how the organization is much leaner than expected. Additionally, “delocalized lean supermarkets” (or rather single workstations that acting as delocalized supermarkets are supplied by the "central supermarket") are an interesting ETO adaptation.

Company 3 overlook is pretty close to the company 1’s one, since Lean level is medium and different current growths are undergone, among which the choice between tablets and monitors for equipping operators stands out. More interestingly, it is worth recalling that company 3 first implemented Lean and then ended up an ETO company, thus addressing the need to adapt processes, techniques and even entire plants.

Company 4 has not embarked yet on a structured path towards Lean manufacturing, hence presenting a medium-low Lean implementation level. Accordingly, few lean principles were introduced in an unconscious attempt to boost performances, since they conveyed the most efficient or effective solution to cope with the outstanding hurdles.

On the other hand, company 5 exhibits a quite high level of Lean, whose underlying culture and principles are spread within the organization by using two main practices: kaizen week and QRQC. With the support of a consulting society, company 5 began a Lean development path about 15 years ago to strengthen plants’ efficiency, and even today three figures are dedicated to the lean-oriented process engineering.

Company 6 reports an intermediate implementation level of Lean, and a structured plan for its development would not seem to be followed yet. Nonetheless, techniques are introduced through a small project supervised by a consultant, with a subsequent period of 6/9 months in which operators become familiar with new practices. Finally, an ETO-specific efficiency indicator represents a great adaptation.

Company 7 dominates the ranking about the Lean implementation, and recent first steps towards Lean office and Lean logistics are not surprising. Therefore, such company reveals the most structured, widespread and capillary application of lean principles among all case studies: only 3 out 29 lean practices are not implemented at all, since remaining 26 are partially or wholly introduced.

Finally, company 8 showcases the lower Lean level, with only 5 practices fully adopted. And this is pretty unexpected, since the organization produces and sells components for a modular system, which is essential to operate in a Lean manufacturing logic. However, various process improvements are underway to definitely introduce Lean.

Cross-case analysis

Ahead of the cross-case analysis, it's valuable to outline a concluding sample overview according to the three reference dimensions and the 2D-CODP positionings.

Attributes	Company 1	Company 2	Company 3	Company 4	Company 5	Company 6	Company 7	Company 8
2D-CODP positioning	Make to order-Major changes	Make to order-Major changes	Finalize to order-Major changes	Finalize to order-Design	Make to order-Minor changes	Finalize to order-Minor changes	Finalize to order-Design	Make to order-Minor changes
Large companies		✓	✓		✓		✓	
Theoretical basis	✓		✓		✓	✓	✓	✓
Structured Lean	✓		✓		✓		✓	

Table 3. Companies' attributes

Although the 2D-CODP framework will not be included in the upcoming correlation analysis, it's worthwhile stating that five different engineering-production models emerge. Besides, we have reached the goal to pick a varied sample in terms of company size, since 4 large companies and 4 SMEs are included. Heterogeneity is also achieved according to the Theoretical lean basis owned by companies, as well as to the Structured Lean concept, for which the theoretical knowledge represents a necessary condition. In depth, a company is marked with such attribute whether techniques are developed and implemented in a conscious way, meaning that beside a deep knowledge and a wide Lean application, a continuous development mindset is deep-rooted, or even a dedicated manager for Lean is settled.

RQ1a: *What are the lean practices applied in ETO companies?*

Results outlined by the single case analysis are now translated into quantitative terms, hence to determine a ranking of practices according to their implementation level. For this purpose, a specific score system is leveraged:

- 2 points: whether a company wholly applies the technique
- 1 point: in case of partial application
- 0 points: if the practice is not implemented at all

Thereby, scores obtained by different companies for a single practice are added up to just determine the practice rating. Techniques implemented by all companies are *Customer involvement* and *Standardized work*, while *Continuous improvement*, *Feedback on performance metrics*, *Visibility and information exchange* and *Workplace housekeeping* are very frequent as well. Interestingly, most implemented practices are not related to a repetitive context, which probably justifies the high implementation rate. Conversely, least used techniques are *TPM* and *Autonomation*, while *Lean supplier development* is never implemented.

Lean Bundle	Lean Production Practice	Scoring	Implementation percentage
Workforce	Standardized work	16	100%
Customer	Customer 'se	16	100%
Workforce	Continuous improvement	15	94%
Production planning and control	Feedback on performance metrics	14	88%
Process technology	Visibility and information exchange	14	88%
Workforce	Workplace housekeeping	14	88%
Production planning and control	Total Productive Maintenance	1	6%
Process technology	Autonomation (Jidoka)	1	6%
Supplier	Lean supplier development	0	0%

Table 4. Most and least implemented practices

By performing a correlation analysis between lean practices and the three reference dimensions (i.e. Large companies, Structured Lean and Theoretical basis), some techniques are clustered in 4 main families:

- 1st Cluster: practices implemented by companies presenting all three attributes
- 2nd Cluster: practices implemented by companies presenting a Theoretical basis
- 3rd Cluster: practices implemented by companies presenting a Large size
- 4th Cluster: practices implemented by companies presenting a Structured Lean

It is worth stating that the presence of an attribute is not a necessary condition for the practice adoption (or rather, if an attribute is true, this does not necessarily mean that the practice is implemented), but represents only a sufficient condition.

About the 1st Cluster, *Total Quality Management* and *Visual management of quality control* are particularly expensive in terms of money and management commitment to be applied in small companies, and too cumbersome for those neglecting the theoretical basis and a well-structured Lean transformation program.

As concerns the 2nd Cluster, practices are *Value identification*, *Feedback to suppliers*, *Setup reduction* and *Continuous flow*, meaning that the Theoretical basis is a sufficient condition for these techniques' application. Focusing on the Value Identification, the relationship is not surprising since the adoption of tools like the VSM requires a Lean baseline knowledge. Likewise, continuous flow can be seen as the culmination of lean practices, thus demanding a series of constraints (time, availability, workload balance) that only a strong Theoretical basis can enable. Vice versa, for remaining three practices no immediate explanations come up.

On the other hand, the 3rd Cluster involves only the *Pull production/Takt time calculation*. A potential reason behind is that a larger dimension, although the high variability of the ETO scenario, generates a repetitiveness for some sub-components, which in turn allows the adoption of some lean pull techniques like kanban tags or takt time.

Finally, also the 4th Cluster registers exclusively one practice. This is the *Continuous flow*, and this technique also belongs to the 2nd Cluster. The explanation behind complements the afore-mentioned one, so that continuous flow requires a series of strict constraints which can be obtained not only through a Theoretical basis (2nd Cluster), but also with a Structured Lean.

RQ1b: *How are these practices applied?*

During meetings we were not able to strongly deepen peculiar ETO adaptations or atypical adoptions of practices, but interviews lead us to outline most innovative and brilliant extensions anyway.

For instance, the “delocalized lean supermarkets”, the standard takt time and wooden poka-yoke templates are interesting ETO adaptations, as well as the “milk run” system for nearby suppliers is a typical lean practice surprisingly adopted also in ETO companies. Moreover, it's fascinating a special event called "kaizen week", through which various departments meet once a year to pursue improvements.

Ultimately, interviews bring out the importance of digital devices. In the future Lean cannot override new technologies, as they provide a great support for automation, dissemination of knowledge and information closeness to the operator.

RQ2: *What are the main challenges ETO companies encounter in implementing lean practices?*

By registering only challenges clearly stated by respondents, some practices result to be issues-free, whilst others present different hurdles. More exactly, the difficulty level of a technique implementation is proxied by the number of companies mentioning an issue. Accordingly, the technique presenting the highest number of challenges is *Smoothed production* (6 companies), directly followed by *Pull Production/Takt time calculation* and *JIT delivery by suppliers* with both 5 case studies. On the other hand, *Total Quality Management*, *Root cause analysis for problem solving*, *Visual management of quality control*, *Autonomation* and *Standardized work* do not report any implementing difficulties.

Lean Bundle	Lean Production Practice	Companies mentioning challenges	Percentage
Production planning and control	Smoothed (levelled) production (heijunka)	6	75%
Supplier	JIT delivery by suppliers	5	62,5%
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation	5	62,5%
Production planning and control	Total Quality Management	0	0%
Production planning and control	Root cause analysis for problem solving	0	0%
Process technology	Visual management of quality control	0	0%
Process technology	Autonomation (Jidoka)	0	0%
Workforce	Standardized work	0	0%

Table 5. Most and least challenging practices

An additional finding concerns relationships that challenges might have with the practice adoption degree (e.g. implemented, partially implemented, not implemented). By implication, three set of practices are defined: techniques showing at least one challenge when they are implemented (fully or partially) and at least one if they are not adopted at all (e.g. *JIT delivery by suppliers*); techniques registering challenges only when they are not adopted (e.g. *Statistical process control*) and those reporting hurdles exclusively when they are partially or totally implemented (e.g. *Smoothed production*).

Also for the RQ2 potential correlations were investigated, but the number of challenges encountered by companies seems to be not correlated with any variable analysed. This result could have several explanations, such as the wrong dimensions used or the limited dimension of the sample.

For a final analysis, we investigated whether company attributes we examined are into a relationship with the implementation degree of lean techniques presenting difficulties. It emerged that being a large company contributes to overcoming problems encountered while implementing lean practices.

RQ3: *How do these practices support variability reduction and variability management?*

RQ3 assessment grounds on the distinction between variability “reduction” and “management” concepts. Practices were therefore analysed by leveraging this dichotomic approach, and each implementation (partial or total) was marked with only one word between “management” or “reduction”. In depth, the choice was made according to four qualitative factors, namely the effect of the practice considering its formal definition, the contingent adaptations or extensions, reasons behind the implementation and the more impacted form of variability (e.g. product or process variability).

Lean techniques were thereby classified into 3 main clusters according to the number of “management” or “reduction” occurrences registered, and thresholds are here reported:

- “Management”: whether management occurrences % is higher than 66%
- “Reduction”: whether reduction occurrences % is higher than 66%
- “Mixed”: otherwise

Management	Reduction	Mixed
Feedback to suppliers	Setup reduction	Supplier involvement in design
JIT delivery by suppliers	Total Productive Maintenance	Smoothed (levelled) production (heijunka)
Pull production/Takt time calculation	Total Quality Management	Concurrent engineering
Visual management of production control	Statistical process control	Value identification
Feedback on performance metrics	Root cause analysis for problem solving	Workplace housekeeping
Visual management of quality control	Autonomation (Jidoka)	
Continuous flow (one-piece-flow)	Cellular manufacturing, Layout size and shape	
Visibility and information exchange	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	
Teamwork and leadership	Process improvement/Kaizen	
Multi-functionality and cross-training	Continuous improvement	
Workforce recognition and reward	Standardized work	
Customer involvement		
12 Practices	11 Practices	5 practices

Table 6. Variability clusters

A final analysis was aimed at finding a relationship between number of techniques for variability "reduction" or "management" implemented by each company and the reference attributes. Unfortunately, also in this case no relationships surfaced, and this is probably due to the fact that variability “reduction” and “management” concepts are strongly related to the practice regardless of companies’ characteristics.

Discussion

Presentation of the answers to the Research Questions

The following table consolidates the main empirical findings of case studies performed. For commodity, it is worth remembering that RQ1 investigates which lean practices are applied in the ETO environment, as well as changes they need undergoing to better suit the new context. Meanwhile, RQ2 addresses issues faced by ETO companies while implementing lean practices, and RQ3 deals with variability management and reduction purposes.

	Main empirical findings
RQ1a	<ul style="list-style-type: none"> - 28 out of 29 practices are implemented at least once in the sample (<i>Lean supplier development</i> is the only one never applied) - <i>Standardized work</i> and <i>Customer involvement</i> are the two most implemented techniques - <i>Workforce</i> is the most implemented bundle - Theoretical basis, Large company and Structured Lean seem to affect some practices implementations
RQ1b	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Production planning and control</i> is the bundle showing the most interesting ETO adaptations - Wide diffusion of lean practices exploiting digital tools
RQ2	<ul style="list-style-type: none"> - Techniques showing the highest number of issues are <i>Smoothed production</i> (6 challenges), <i>JIT delivery by suppliers</i> (5 challenges) and <i>Pull production/Takt time calculation</i> (5 challenges). - Practices which have not reported any difficulties are <i>Total Quality Management</i>, <i>Root cause analysis for problem solving</i>, <i>Visual management of quality control</i>, <i>Autonomation</i> and <i>Standardized work</i> - There seems to be some relationships between challenges and the implementation level of practices - Large companies are more likely to overcome hurdles (implement partially or wholly the practice either way) than SMEs
RQ3	<ul style="list-style-type: none"> - Beside practices mainly aimed at reducing or managing variability, there is also a set of techniques with a mixed purpose (both management and reduction) - <i>Production planning and control</i> and <i>Process technology</i> are more aimed at reducing variability, whilst <i>Supplier</i>, <i>Customer</i> and <i>Workforce</i> mainly manages variability

Table 7. Summary of the main empirical findings

Benchmark between case studies and systematic literature review

Case studies results and SLR ones exhibit only a weak overlapping in terms of most implemented practices, least implemented ones, most adapted ones and most challenging ones. Actually, Research Questions are approached differently by these two methodologies, also in light of their baseline structure: 63 papers against 8 real companies. Moreover, articles analysed in the SLR largely deal with the construction industry, whilst case studies exclusively focus on the machinery and equipment one. Finally, also criteria used to register single practices implementations, challenges and viability purposes are sometimes different.

Conclusions

The research thesis offers strategical and managerial insights to ETO companies, by suggesting which lean techniques can be used in the ETO environment and how they might be edited, as well as by clarifying potential challenges and variability purposes of such practices.

Nonetheless, case studies results are not free from limitations. First and foremost, companies solely belong to the Italian machinery industry, thus preventing a generalization of results in the whole machinery industry firstly, and then in the wider ETO one. Moreover, by relying on semi-structured interviews, answers could be biased by the questions themselves, and consequently insights might not totally reflect reality.

Case studies results are obviously linked to the nature and numerosity of companies in the sample. As such, for a general ETO extension, a broader and multi-sector sampling is required. In addition, it is worth recalling that also the Italian contextualization could be limiting, as the business environment is normally affected by industrial, economic and legislative factors. Finally, analysis also neglects the impact of Lean on financial statements, although the business welfare is measured above all in economic terms.

1. Introduction

Engineer to Order is a manufacturing mode in which customers proactively collaborates starting with the concept engineering phase of the product life cycle in order to develop and manufacture products that fulfil customers' functional requirements (Birkie and Trucco, 2016). Thereby, ETO companies achieves a competitive advantage by understanding customer requirements, by translating them into product specifications and by integrating components and subsystems into products (McGovern et al., 1999). Accordingly, ETO internal supply chains present a very high level of complexity, which arises from cumbersome product structures, various production methods to manage the different demand volumes of items and the overlapping of manufacturing with design activities (McGovern et al., 1999).

In view of these features, the ETO business environment is the polar opposite of the repetitive and mass production one, which is generally conceived as the native scenario of Lean manufacturing paradigm. It is generally defined as a multidimensional approach including methods and tools used to enhance productivity, quality and lead time by eliminating wastes (Shah and Ward, 2003), albeit supposed by many researchers to properly perform only with a large volume production rather than a small volume/high variety one (e.g. Cooney 2002). Therefore, the transposition of lean principles and practices into the ETO competitive arena represents a fascinating and challenging research topic, as the new context may prevent, allow, or tailor typical lean techniques.

Management researchers' attention of Lean implementation in the ETO business context is raising, but literature is not mature yet. However, it is worth recalling some recent studies which have provided innovative hints and findings. For instance, according to Birkie and Trucco (2017), even companies operating in highly uncertain (complex and dynamic) environments may achieve significant performance gains, while Powell et al. (2014) examined the evolution of lean principles and proposed a new concerning set for the engineer to order (ETO) sector. Turning to the potential practical benefits, it's remarkable the recent empirical research performed by Tomašević et al. (2016), according to which a tool-agnostic approach can enhance the lead time and delivery reliability, i.e. two pivotal parameters in the ETO scenario. Besides, Kjersem et al. (2015) observed a better flow of materials and a better planning for the assembly line in a company that builds complex and highly customized vessels for the offshore industry.

This is the general framework in which the dissertation fits in, and three Research Questions are addressed:

- RQ1: (a) *What are the lean practices applied in ETO companies?* (b) *How are these practices applied?*
- RQ2: *What are the main challenges ETO companies encounter in implementing lean practices?*
- RQ3: *How do these practices support variability reduction and variability management?*

The methodology adopted to answer the afore-mentioned RQs is two-folded:

- A systematic literature review (SLR), thus simultaneously assessing the current state of literature about Lean in the ETO environment.
- A multiple case study to gather empirical evidence of Lean in ETO companies by targeting the Italian machinery industry.

Thereby, this research provides several contributions to the existing theory, as well as innovative hints:

- RQ1a investigates which lean techniques are implemented in the ETO environment, as well as their adoption degree, i.e. the extent to which they are applied. A ranking of bundles and practices is outlined, thus defining the most and least implemented ones. Concurrently, some correlations between such practices and peculiar companies' attributes are revealed.
- RQ1b deepens the adaptations or extensions that lean practices needs undergoing to better suit the ETO environment. Remarkable and creative cues emerge, and they clarify how the ETO context can translate traditional lean principles into tweaked practices and approaches.
- RQ2 tackles challenges faced by ETO companies while implementing lean practices. The latter are ranked according to the hurdles registered, which exhibit relations with some companies' attributes.
- RQ3 approaches the high variability issues of ETO companies. In particular, the difference between variability management and reduction is leveraged to classify practices and bundles accordingly.

Throughout the thesis work, the potential impact that some companies' variables can have on lean practices implementation will be discussed. Accordingly, an appropriate section is deployed next to SLR results, while a correlation analysis expands the case study results' section. Either way, such variables are:

- Large companies: company size, which is assessed according to some reference parameters.
- Theoretical basis: companies rely on strong theoretical lean basis, which allow a more straight-line Lean adoption.
- Structured Lean: companies apply and develop techniques in a conscious and structured way by presenting a project of continuous development or even a dedicated manager/department for Lean.

This array of attributes is set out by leveraging previous studies. First, the literature investigating the relationship between firm size and lean practices implementation is deemed contradictory (Shah and Ward, 2003). Accordingly, some studies claimed that companies size matter (e.g. Shah and Ward, 2003; Doolen and Hacker, 2005), while others like Furlan et al. (2011) did not detect any impact. Indeed, a larger dimension may simplify the implementation of lean techniques due to the availability of both capital and human

resources (Shaw and Ward 2003), as well as the subsequent organizational inertia (Hannan and Freeman, 1984) could instead prevent or hinder some practices. Thereby, the choice to include the company dimension in the attributes' array is to investigate its potential impact on Lean in ETO companies.

The second dimension, namely Theoretical knowledge, was set out by looking at the work of Emiliani and Emiliani (2013). Essentially, they argued that top-level managers must have a good understanding of lean manufacturing and a limited knowledge about it to be effective is accordingly not enough. As such, Theoretical knowledge is included in the array as the ETO business scenario may discourage managers to deepen Lean theoretical basis, as well as it could hamper the translation of knowledge into practices.

Finally, the third attribute was suggested by the empirical research carried out by Sisson and Elshennawy (2015). In depth, they outlined 17 specific actions that a company wishing to achieve a sustained and successful lean improvement can focus on, and the ones that inspired us to define the Structured Lean attribute are the following:

- 'Successful lean companies utilize kaizen at a regular cadence to drive continuous improvement'
- 'Successful lean companies drive lean implementation from the top down'
- 'Successful lean companies dedicate full-time resources to lean improvement'

Structured Lean was therefore drafted to investigate whether the ETO environment may confirm or reject such propositions. Either way, it's worth remarkable that also other variables could have been selected, as the product portfolio or the two-dimensional customer order decoupling point framework (better explained later). Consistently, exclusion criteria will be properly unfolded during the thesis work.

The dissertation will start with a theoretical background of Lean manufacturing and ETO fulfilment strategy in Section 2. Subsequently, Section 3 will outline a systematic literature review (SLR), whose results will then set up the baseline for further steps. In Section 4 the case study methodology will be explained, while Section 5 will present results of a single case analysis and a cross-case analysis, with the ultimate goal of answering the three Research Questions. Contextually, Section 6 will discuss and consolidate findings of case studies, while Section 7 will deliver the conclusions, as well as thesis limitations and potential further developments.

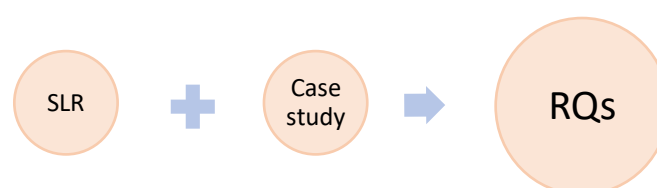


Figure 1. Structure of the thesis work

2. Background

2.1. Lean production

2.1.1. Toyota Production System (TPS)

The Lean philosophy has its roots in the "Toyota Production System" (TPS), which was developed in Japan in the 1950s and 1960s by some Toyota managers, including Sakichi Toyoda, Kiichiro Toyoda, and in particular the young engineer Taiichi Ohno. TPS was born as a result of scarcity of resources and a sharp domestic competition on automobile market (Hines et al., 2004), and few decades later the business book "The machine that changed the world" by Womack, Jones and Roos (1990) made the term "Lean production" known worldwide. The Toyota Production System is often figurately represented with a house.

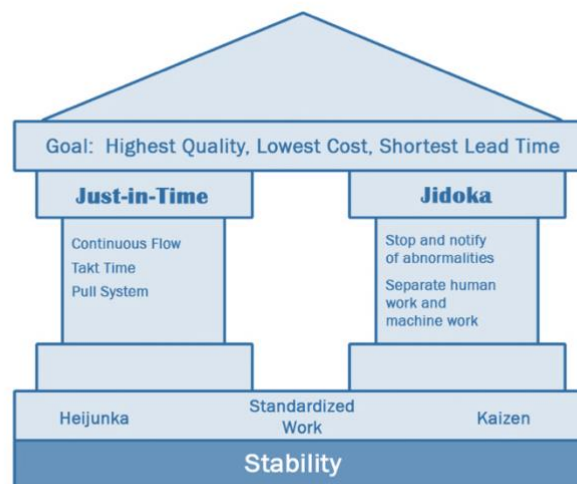


Figure 2. The typical house of TPS - Lean Enterprise Institute

The roof of the house stands for the ultimate goal, namely to achieve the best quality, at the lowest price and with the shortest lead time. Below, the two pillars are called *Just-in-Time* and *Jidoka*, respectively. *Just-in-Time (JIT)* is aimed at eliminating stocks and inventories of material by producing only when the customer's demand arises (Kootanaee et al., 2013). On the other hand, *Jidoka* is the principle of building quality for customers, thus making it right the first time (Soliman, 2020). At the bottom, foundations are three: *Heijunka* means production levelling, *Standardized work* refers to an efficient sequence of actions for all activities performed within the firm boundaries and finally *Kaizen* is the continuous improvement philosophy.

2.1.2. Lean manufacturing

Nowadays, Lean manufacturing (sometimes called 'Lean production' or just 'Lean') represents a successful paradigm in the industrial production scenario (Braglia et al., 2019b). It is centered on preserving value with less work (Prashar, 2014) and supports companies to achieve operational excellence by establishing a strong willingness to change, by eliminating wastes through continuous improvement and standardization, and by leveraging on workers both physically and intellectually (Prashar, 2014; Gupta and Jain, 2013).

Lean production grounds on five rigorous and well-established principles, which were ultimately conveyed by Womack and Jones (1996):

1. Identify value: specifying value by adopting a customer perspective.
2. Map the value stream: identifying all value adding steps in the value stream.
3. Create flow: creating a smooth production flow by sequencing value adding steps.
4. Establish pull: produce only when needed, so when the customer order arises.
5. Pursuit of perfection: achieve perfection by continuous improvement activities.

Such principles are frequently defined and represented by academic papers within a cycle, hence to stress the concept of a continuous improvement. Indeed, the Lean philosophy allows inefficiencies to surface, and subsequently leverages the process of solving hurdles to learn how to reduce the risk of repeating them again in the future (Liker and Morgan, 2011).

Shah and Ward (2007) define Lean production as 'an integrated socio-technical system whose main objective is to eliminate waste by concurrently reducing or minimising supplier, customer, and internal variability'. Notably, waste (*muda* in Lean lingo) can be generally intended as any action that does not add value to the customer (Ohno 1988; Womack and Jones 2003), and the "Seven Wastes" defined by Ohno (1988) still represent the reference model for many academic approaches:

- Waiting: long periods of inactivity for people, information or goods, resulting in long lead times
- Over-production: producing more than needed
- Defects: all product aspects that are not in accordance with customer requirements
- Motion: moving people, products and information more than required
- Over-processing: performing any activity which the customer is not willing to pay for
- Unnecessary inventory: holding information or material ahead of requirements
- Excessive transportation: moving unnecessary materials throughout the process flow

When thinking about wastes, the classification of activities made by Hines & Taylor (2000) is a cornerstone:

1. Value adding activity: activities for which customer is willing to pay, hence those activities that make the product more valuable in her eyes.
2. Non value adding activity: activities that do not render the product more valuable and which are not necessary even under current circumstances. Thereby, they represent a waste and should be the target of short term abolition.
3. Necessary non value adding activity: activities that do not make a product more valuable for the customer, but are necessary as long as the existing process does not totally change. Thus, their removal is very challenging in the short term and should be targeted by a more radical change.

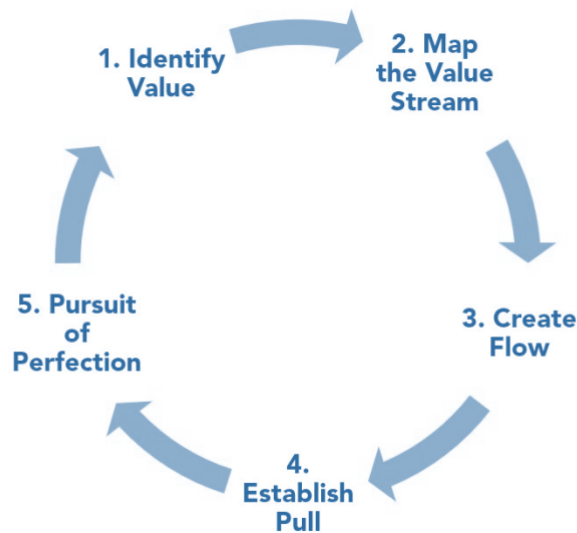


Figure 3. The 5 principles' cycle - Lean Enterprise Institute

2.1.3. Lean practices

Lean manufacturing provides guiding principles on processes, people, problem-solving and long-term orientation, which are then converted into different practices (Liker 2004; Womack and Jones 2003). Literature cites lots of different lean practices and quite often they are grouped in bundles, which are defined by Shaw and Ward (2003) as categories of consistent and logically interrelated practices. Throughout the thesis work, the reference list of lean bundles with relative practices is the one proposed by Bai et al. (2019).

Bundle	Practice	Definition	Main sources
Supplier	Feedback to suppliers	Regular reporting suppliers on quality and delivery performance.	Shah and Ward (2007)
	JIT delivery by suppliers	Ensuring that suppliers deliver sufficient quantities of the right quality product at the right time, generally through the use of Kanban containers.	Bortolotti et al. (2015); Shah and Ward (2007)
	Supplier involvement in design	Extent to which suppliers provide input into product development projects.	Bortolotti et al. (2015)
	Lean supplier development	Providing the supplier training and development for the further LP improvement.	Shah and Ward (2007)
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation	Producing according to demand from next station and, basically, from the customer, generally triggered by Kanban cards. It is supported by the takt time calculation, i.e. setting the pace of production.	Sezen et al. (2012); Shah and Ward (2007)
	Setup reduction	Regular conduction of setup times reduction activities, consisting in the identification, separation, conversion of internal tasks and streamlining.	Bortolotti et al. (2015); McIntosh et al. (2000); Sezen et al (2012)
	Smoothed (levelled) production (heijunka)	Extent to which all product models are produced every day.	Saurin et al. (2011); Shah and Ward (2007)
	Total Productive Maintenance	Addressing equipment downtime via activities such as autonomous and planned maintenance.	Bortolotti et al. (2015); Cua et al. (2001)
	Visual management of production control	Providing workforce information about production schedule and progress, usually showing them on a board known as 'Andon'.	Saurin et al. (2011)
	Feedback on performance metrics	Regular assessment of metrics linked to LP principles, such as lead time, rework and scrap rates, standard versus actual inventory, Overall Equipment Effectiveness (OEE).	Saurin et al. (2011)

	Total Quality Management	Analysis of variability through statistical tools focused on the elimination of defects and rework and their prevention (e.g. Poka Yoke).	Cua et al. (2001); Pettersen (2009)
	Statistical process control	Use of statistical tools for analyzing production performance.	Pettersen (2009)
	Root cause analysis for problem solving	Tackling problems to find solutions to problem, not to symptoms, implying the use of tools such as 5 why and fishbone diagram.	Sezen et al. (2012)
	Visual management of quality control	Displaying quality related metrics, root causes of defects, and respective action plan.	Saurin et al. (2011)
	Autonomation (Jidoka)	Making machinery carry out value adding operations without either workers monitoring them or manual intervention, and it is able to stop production or provide warning of abnormalities.	Shah and Ward (2007)
	Continuous flow (one-piece-flow)	Processing and moving single pieces of material, so that no piece of material waits between adjacent workstations.	Saurin et al. (2011)
Process technology	Cellular manufacturing Layout size and shape	Producing in a product-oriented layout to close proximity of machinery, and with the use of smaller movable equipment suited for flexible floor layout	Bortolotti et al. (2015); Sezen et al. (2012)
	Concurrent engineering	Parallelisation of tasks and integration of information within the company in the design of new products.	Doolen and Hacker (2005)
	Parts standardization/modularisation design for manufacturability	A set of design activities that seek to improve product management, manufacturability and assembly.	Panizzolo (1998)
	Visibility and information exchange	Allowing workers to be aware of the process, to see equipment and materials, and to communicate each other especially when each station in a chain is linked with its previous and next stations.	Cua et al. (2001); Saurin et al. (2011)

	Process improvement / Kaizen	Conduction of activities on existing processes at the shop floor to meet new goals and objectives, such as quality increase and costs reduction.	Doolen and Hacker (2005); Sezen et al. (2012); Shah et al. (2008)
	Value identification	Identifying the value stream within all activities required to create a product (or to provide a service) for the customer, based on a method known as Value Stream Mapping (VSM).	Doolen and Hacker (2005); Sunk et al. (2017)
Workforce	Teamwork and leadership	Team leader supports workers in continuous improvement activities, such as problem solving and implementation of improvements.	Saurin et al. (2011)
	Multi-functionality and cross-training	Conducting job rotation on a daily basis so that all workers are able to carry out production operations.	Saurin et al. (2011)
	Workforce recognition and reward	Formally rewarding workforce accomplishing plant objectives.	Bortolotti et al. (2015); Doolen and Hacker (2005);
	Continuous improvement	Train workers in problem solving methods and involve them whether in formal and informal ones.	Saurin et al. (2011)
	Workplace housekeeping	Organizing and auditing the workplace so that it is clean and equipped with only the necessary objects (known also as '5s').	Pettersen (2009); Saurin et al. (2011)
	Standardized work	Document, make visible and update work standards on regular basis.	Saurin et al. (2011)
Customer	Customer involvement	Regular gathering of information on customer needs and feedback on the firm's performance.	Bortolotti et al. (2015)

Table 8. The comprehensive listing and bundles of Lean manufacturing practices - Bai et al. (2019)

Traditionally, Lean implementation has addressed the manufacturing shop floor, and coherently literature mostly discusses only shop floor practices and related performance improvements (Birkie and Trucco, 2017). Nonetheless, the combined effects of adopting such practices inside and outside the manufacturing shop floor have been outlined in past research too (e.g. Scherrer-Rathje et al., 2009). Contextually, according to a recent empirical investigation carried out by Fullerton et al. (2014), Lean must be adopted as a holistic system across the shop floor and other transactional processes to definitely boost company performances.

2.2. Engineer to order business environment

2.2.1. Customer order decoupling point

The definition of the ETO fulfilment strategy is contingent on the customer order decoupling point (CODP) concept. The CODP, also known as order penetration point (Olhager, 2010), is typically referred to the point in the goods' flow that separates forecast driven production activities (upstream) from customer order driven ones (downstream) (Giesberts and van den Tang, 1992).

The CODP was initially developed only for the production process, and according to its position along the value chain four main order fulfilment strategies can be identified (Wortmann, 1983): Make to stock (MTS), Assemble to order (ATO), Make to order (MTO), and Engineer to order (ETO).

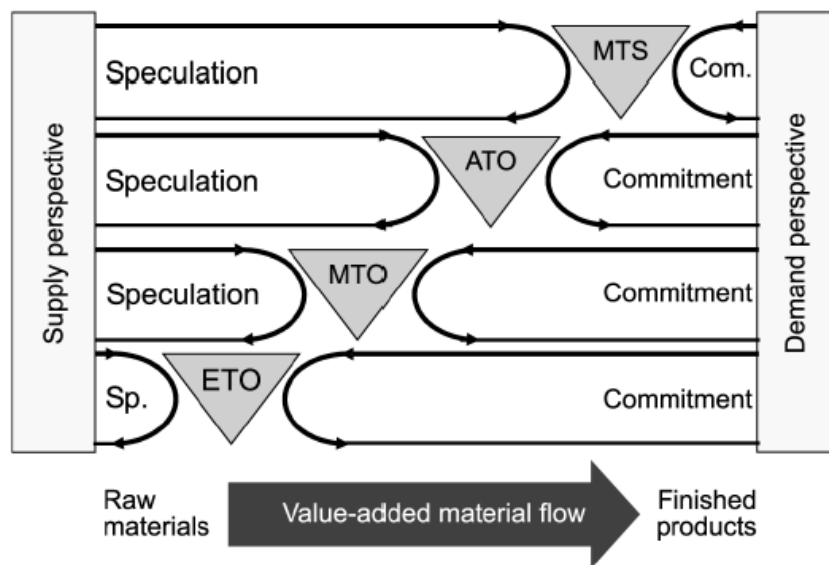


Figure 4. CODP positionings - Wikner and Rudberg (2005)

In most cases product specifications get frozen right in the CODP, which also defines the last place to keep inventories (Sharman, 1984). In addition, according to Olhager (2003), factors affecting the order penetration point positioning are different, although interrelated for some extent (see Figure 5).

The OPP splits the value chain in two parts, each one requiring a different management policy. Thus, two manufacturing strategies take place: one for pre-CODP operations and another one for post-CODP ones (Olhager, 2003).

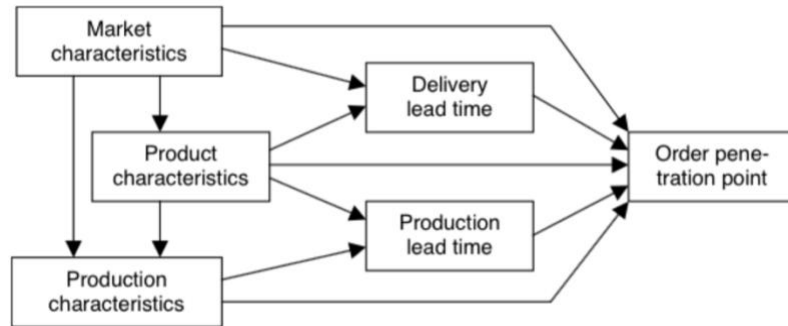


Figure 5. Factors affecting the CODP positioning - Olhager (2003)

2.2.2. Engineer to order fulfilment strategy

The engineer to order (ETO) refers to a production system in which design, engineering and production do not start until the validation of a customer order (Powell et al., 2014). That is why such strategy holds the extreme left of the CODP framework seen above.

In the traditional ETO environment products are customer-specific, highly customized and realized in low volumes. Simultaneously, processes are typically non-repetitive, labour intensive and often demanding highly skilled manpower (Powell et al., 2014). In short, ETO companies entail a one-of-a-kind production and thus the need to redesign, at least partially, the product for each customer. Plus, operations are performed in a heterogeneous and unpredictable environment due to the high level of dynamism and complexity (e.g. Adrodegari et al., 2015), whose factors are both external (e.g. Azadegan et al., 2013) and internal to the firm (Birkie and Trucco, 2016). In detail, complexity refers to the number and similarity of factors considered in a decision-making situation, whilst dynamism is the degree to which these factors continually change over time (Duncan 1972).

A pivotal step in the ETO business arena is the planning process, whose objective is to manage orders by coordinating the whole company in terms of resources, processes, supply chain, clients and some other factors. As such, companies following an engineer to order strategy manage product development and production as projects.

About the emerging trends in the ETO industry, nowadays customers are demanding even more customised products at competitive prices and at lower lead times. This phenomenon is called “customization-responsiveness squeeze” (McCutcheon et al., 1994). Contextually, order winners in ETO companies are design, delivery speed and flexibility (Olhager, 2003); price takes second place, thus representing an order qualifying characteristic (Amaro et al., 1999).

2.2.3. Two-dimensional customer order decoupling point

The unidimensional CODP framework was then upgraded by Wikner and Rudberg (2005), who developed a two-dimensional customer order decoupling point (2D-CODP) by introducing the Engineering process axis. Consequently, the new schema also clarifies the engineering activities made on forecast or order, thus standing as a key tool for ETO companies. Figure 6 is the framework proposed by Cannas et al. (2019) in their study about the machinery industry, and it will be used during the upcoming case studies as well.

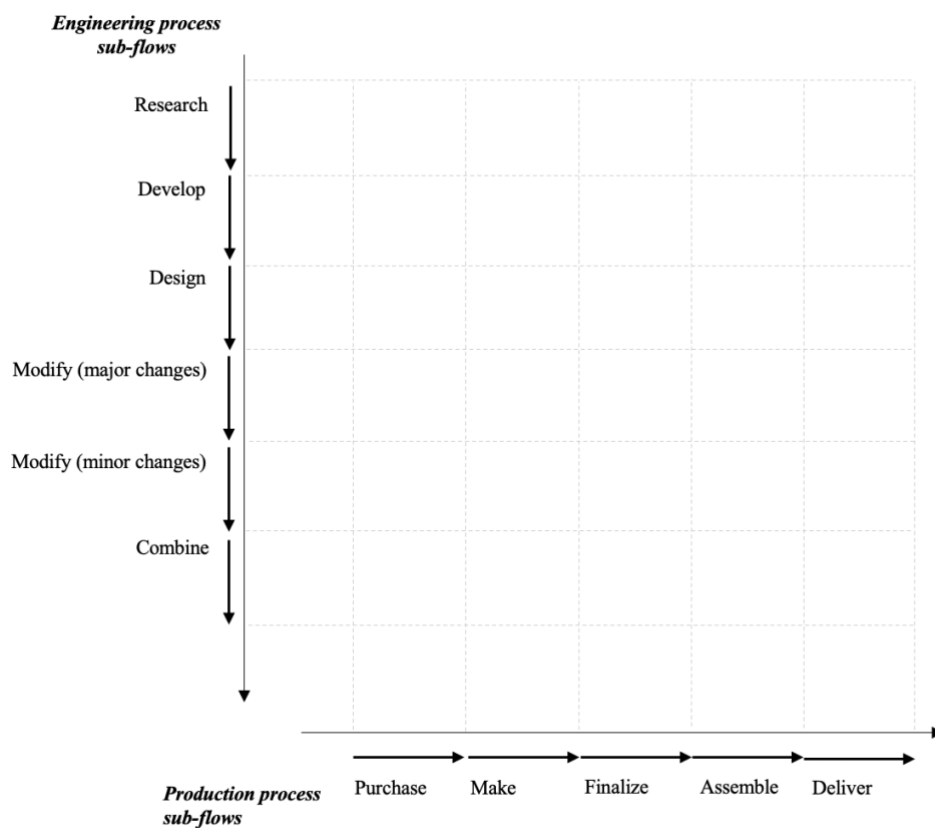


Figure 6. 2D-CODP framework - Cannas et al. (2019)

Going deeper, the vertical axis articulates in the main activities of the engineering process: (i) Research the product concept; (ii) Develop standards and principles, like materials to use; (iii) Design detailed product specifications; (iv) Modify existing designs by making major changes like technical or functional characteristics; (v) Modify existing designs by making minor changes, like colour or superficial features; (vi) Combine a set of pre-defined design options. Conversely, the horizontal axis encompasses the main steps of the production process: (i) Purchase raw materials; (ii) Make parts/subassemblies; (iii) Finalize parts/subassemblies, i.e. customize components; (iv) Assemble of parts/subassemblies; (v) Deliver finished product (Cannas et al., 2019).

2.3. Lean in the ETO business environment

Lean was developed from methods and techniques of the Toyota Production System (TPS). As such, concerning principles arise from a high-volume production environment, whose roots lie in the continuous flow and moving assembly line concepts of Henry Ford (Powell et al., 2014). Consequently, many researchers consider Lean production as a system applicable only with a predictable workflow (e.g. Howell et al., 2011).

Although lean principles are intended to be applied in any industry (e.g. Womack and Jones, 2003), the high variance of manufacturing processes and the low repetition frequency of similar or equal products hamper the Lean manufacturing implementation in the ETO business environment (Braglia et al., 2019a). Accordingly, issues that such companies face while adopting lean practices might have four main causes (Tomašević et al., 2016):

1. knowledge about Lean implementation in the ETO business scenario is not as structured as in more repetitive environments.
2. managers are not able to identify contextual factors of ETO operations, trying so to merely copy lean practices from repetitive industries without tailored adaptations.
3. managers fail in understanding the baseline principles of Lean, hence focusing on tools.
4. absence of a unique framework guiding Lean implementation in ETO environment.

Contextually, as stated in the Section 2.2.2, complexity and dynamism are typical features of the ETO environment. Related to these factors, Birkie and Trucco (2016) proposed the framework seen in Figure 7.

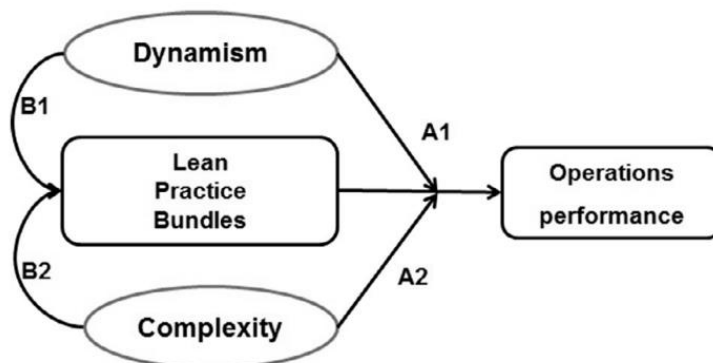


Figure 7. Moderation and configuration role in the ETO context - Birkie and Trucco (2016)

Arrows A1 and A2 represents the “moderation role” of dynamism and complexity, namely their capability to affect the performances improvement resulting from implemented practice bundles (e.g. Azadegan et al., 2013). On the other hand, arrows B1 and B2 stand for the configuration role, so the impact that dynamism and complexity can have on lean bundles’ applicability in ETO companies.

By way of conclusion, many researchers claim that evidence on Lean rollout in ETO environment is yet to be found, suggesting that more empirical research is needed to support effects that Lean might have on ETO operations’ efficiency (e.g. Gosling and Naim, 2009). Either way, in the last few years the number of papers investigating this topic has increased (Eriksson, 2010), but literature is still limited if compared to Lean adoption in mass production or batch type systems (Birkie and Trucco, 2016).

3. Systematic literature review

3.1. Overview

The first step performed to answer the three Research Questions is the systematic literature review (SLR). This methodology grounds on a tight and well-defined approach aimed at revising the existing literature for a certain topic (Vom Brocke et al., 2009). Hence, a systematic literature review maps, consolidates and assesses the knowledge of a specific subject area, as well as brings out those gaps to bridge for developing the existing literature further (Tranfield et al., 2003). Moreover, Pittway (2008) outlines seven key principles of systematic literature reviews:

- Transparency
- Clarity
- Integration
- Focus
- Equality
- Accessibility
- Coverage

The systematic literature review carried out in the thesis work follows the steps proposed by Ciccullo et al. (2018), which in turn are based on the works of Seuring and Müller (2008) and Gosling and Naim (2009):

- Material collection (Section 3.2): setting the sources to adopt and the unit of analysis (i.e. the paper), as well as the inclusion and exclusion criteria for papers.
- Descriptive analysis (Section 3.3): delivering temporal distribution of selected articles and their sources' occurrences.
- Thematic analysis (Section 3.4): unfolding the main outcomes of the SLR, whereby to arrange and assess the material collected to identify future development paths.

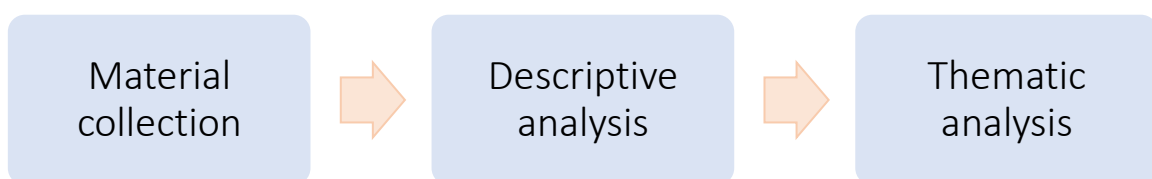


Figure 8. Steps of the systematic literature review

3.2. Material collection

All papers needed for the systematic analysis were gathered during the material collection phase, which articulates in two main steps. The first one concerns the keywords extraction, as well as the title screening to initially filter articles. Then, the second step is the analysis of each single resource's content, thus drafting the final list of papers.

3.2.1. First step: Keyword extraction and Title screening

First and foremost, databases selected were Scopus (Elsevier) and Web of Science. These platforms provide wide coverage across different full-text databases and for this reason they are frequently used for literature review (Bagni et al., 2020; Thürer et al., 2019; Mongeon and Paul-Hus, 2016).

Queries on the two databases were performed in November and December 2020, with the last update made on the 15th of December 2020. Keywords used to extract papers had obviously to deal with the application of lean practices into the ETO environment, and therefore two sets of keywords were required. The first one considered the Lean theme, and the selection of words was made by looking at the systematic literature review performed by Tomašević et al. (2020) about Lean in HMLV industry. Thereby, keywords were: "lean", "Toyota Production System", "TPS", "World Class Manufacturing" and "WMC". On the other hand, the second bunch considered the ETO business scenario, and consisted of following terms: "engineer-to-order", "ETO", "one-of-a-kind", "non-repetitive", "design-to-order" and "HMLV". Some words of this last set were suggested by the systematic literature review carried out by Gosling and Naim (2009) just about the ETO supply chain, while the remainder come from the general knowledge about this production system. To summarize, keywords used were "lean", "Toyota Production System", "TPS", "World Class Manufacturing" and "WMC" in combination with "engineer-to-order", "ETO", "one-of-a-kind", "non-repetitive", "design-to-order" and "HMLV". It is worth mentioning that the association rule for combining keywords coming from the two different sets was 'AND' (e.g. "lean" AND "ETO"), and terms composed by more than one word were written using a "-" between words (e.g. "one-of-a-kind").

Table 9 and Table 10 outline the numerical results of queries made in the two selected databases. Accordingly, the keyword which led to the higher number of results was "lean" for both databases. "Toyota Production System" and "TPS" resulted in a limited material, while "World Class Manufacturing" and "WCM" did not provide any paper. Ultimately, by removing duplicates, the research yielded 143 articles.

	Engineer to order	ETO	One of a kind	Non repetitive	Design to order	HMLV
Lean	63	53	28	16	3	13
Toyota Production System	-	-	-	-	-	1
TPS	-	9	-	1	-	1
World Class Manufacturing	-	-	-	-	-	-
WCM	-	-	-	-	-	-

Table 9. Numerical results of queries performed in Scopus

	Engineer to order	ETO	One of a kind	Non repetitive	Design to order	HMLV
Lean	37	29	12	6	1	2
Toyota Production System	1	-	-	2	-	1
TPS	-	2	-	-	-	-
World Class Manufacturing	-	-	-	-	-	-
WCM	-	-	-	-	-	-

Table 10. Numerical results of queries performed in Web of Science

Once the set of 143 papers was obtained, title screening was performed, meaning that titles were examined to check the adherence to the concerned topic. Therefore, papers presenting titles totally misaligned with Lean implementation in the ETO environment were excluded, as well as articles showing a strong focus on agile techniques or explicitly mentioning other different fulfilment strategies as “make to stock”. Finally, the output of the title screening was a list of 124 papers.

3.2.2. Second Step: Analysis of the full body of the papers

The second step of the material collection phase concerns the abstract and full paper screening. Therefore, all articles were carefully read, and exclusion criteria were:

- Full content access denied
- Articles without direct focus on Lean implementation in ETO industry
- Books, conference and white papers

The last criterion was introduced as the limited access to this kind of material might compromise the systematicity of the entire literature review (Tomašević et al., 2020). The outcome of the second step was a list of 63 papers, which definitely set up the final pool for the SLR. Table 11 presents all these articles, also providing their source and type: “E” means empirical works (e.g., case study, survey, action based research), while “T” refers to theoretical works (e.g. literature review and conceptual paper).

ID	Authors	Title	Year	Journal / Source	Research methodology
1	Andersen L., Fyhn H.	Organisational and cultural preconditions for extending the use of takt-time planning	2019	IGLC 2019 - Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: theory-guided process tracing method (Falleti, 2016)
2	Aslesen S., Reff S., Stordal E.	How long does it take to build an apartment?	2019	IGLC 2019 - Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: single case study
3	Bajjou M.S., Chafi A., En-Nadi A.	A comparative study between lean construction and the traditional production system	2017	International Journal of Engineering Research in Africa	T: conceptual
4	Bataglin F.S., Viana D.D., Formoso C.T., Bulhões I.R.	Application of BIM for supporting decision-making related to logistics in prefabricated building systems	2017	IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: design science research (DSR)
5	Bataglin F.S., Viana D.D., Formoso C.T., Bulhões I.R.	Model for planning and controlling the delivery and assembly of engineer-to-order prefabricated building systems: Exploring synergies between lean and BIM	2020	Canadian Journal of Civil Engineering	E: design science research (DSR)
6	Bertolini M., Romagnoli G.	Lean manufacturing in the valve pre-assembly area of a bottling lines production plant: An Italian case study	2013	IESM 2013 - Proceedings of 2013 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management	E: single case study
7	Binninger M., Dlouhy J., Haghsheno S.	Technical takt planning and takt control in construction	2017	IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	T: literature review

8	Birkie S.E., Trucco P.	Understanding dynamism and complexity factors in engineer-to-order and their influence on lean implementation strategy	2016	Production Planning and Control	E: case studies (2 cases)
9	Birkie S.E., Trucco P., Kaulio M.	Sustaining performance under operational turbulence: The role of Lean in engineer-to-order operations	2017	International Journal of Lean Six Sigma	E: case studies (2 case studies)
10	Böhme T., Deakins E., Pepper M., Towill D.	Systems engineering effective supply chain innovations	2014	International Journal of Production Research	E: single case study
11	Bortolini R., Formoso C.T., Viana D.D.	Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modelling	2019	Automation in Construction	E: design science research (DSR)
12	Bortolotti T., Danese P., Romano P.	Assessing the impact of just-in-time on operational performance at varying degrees of repetitiveness	2013	International Journal of Production Research	E: survey
13	Braglia M., Dallasega P., Marrazzini L.	Overall Construction Productivity: a new lean metric to identify construction losses and analyse their causes in engineer-to-order construction supply chains	2020	Production Planning and Control	E: applied research
14	Braglia M., Frosolini M., Gallo M., Marrazzini L.	Lean manufacturing tool in engineer-to-order environment: Project cost deployment	2019	International Journal of Production Research	E: single case study
15	Braglia M., Gabbrielli R., Marrazzini L.	Overall Task Effectiveness: a new Lean performance indicator in engineer-to-order environment	2019	International Journal of Productivity and Performance Management	E: single case study
16	Breitenbach F.A., Ferreira J.C.E.	Application of lean manufacturing concepts and value stream mapping to a company that manufactures engineering to order road transportation products	2014	FAIM 2014 - Proceedings of the 24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: Capturing Competitive Advantage via Advanced Manufacturing and Enterprise Transformation	E: single case study
17	Cannas V.G., Pero M., Pozzi R., Rossi T.	An empirical application of lean management techniques to support ETO design and production planning	2018	IFAC-PapersOnLine	E: single case study
18	Chouraf F., Chafi A.	Adaptation of the value stream mapping (VSM) for the Moroccan artisanal enterprise	2018	2018 IEEE - Proceedings of the 5th International Congress on Information Science and Technology (CiSt)	E: single case study
19	Dallasega P., Marcher C., Marengo E., Rauch E., Matt D.T., Nutt W.	A decentralized and pull-based control loop for on-demand delivery in ETO construction supply chains	2016	IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: single case study
20	Dallasega P., Rauch E.	Sustainable construction supply chains through synchronized production planning and control in engineer-to-order enterprises	2017	Sustainability	E: single case study
21	Dallasega P., Rauch E., Frosolini M.	A lean approach for real-time planning and monitoring in engineer-to-order construction projects	2018	Buildings	E: applied research

22	Dallasega P., Rauch E., Matt D.T., Fronk A.	Increasing productivity in ETO construction projects through a lean methodology for demand predictability	2015	IEOM 2015 - Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management	E: single case study
23	Dallasega P., Revolti A., Follini C., Schimanski C.P., Matt D.T.	BIM-based construction progress measurement of non-repetitive HVAC installation works	2019	IGLC 2019 - Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: action research (AR)
24	Djassemi M.	Lean adoption in small manufacturing shops: Attributes and challenges	2014	Journal of Technology, Management, and Applied Engineering	E: single case study
25	Faloughi M., Linnik M., Murphy D., Frandson A.G.	WIP design in a construction project using takt time planning	2015	IGLC 2015 - Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions	E: single case study
26	Fazinga W.R., Saffaro F.A., Isatto E.L., Kremer A.	Difficulties in work design in the construction sector	2016	IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: case studies (2 case studies)
27	Forsman S., Björngrim N., Bystedt A., Laitila L., Bomark P., Öhman M.	Need for innovation in supplying engineer-to-order joinery products to construction: A case study in Sweden	2012	Construction Innovation	E: case studies (2 case studies)
28	Huang G., Chen J., Khojasteh Y.	A cyber-physical system deployment based on pull strategies for one-of-a- kind production with limited resources	2020	Journal of Intelligent Manufacturing	E: case study and simulation
29	Hussain A., Munive- Hernandez J.E., Campean F.	Lean approach in a high mix, low volume manufacturing environment- case study	2020	Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management	E: action research (AR)
30	Jünge G.H., Alfnes E., Kjersem K., Andersen B.	Lean project planning and control: Empirical investigation of ETO projects	2019	International Journal of Managing Projects in Business	E: design science research (DSR)
31	Kalsaas B.T., Bonnier K.E., Ose A.O.	Towards a model for planning and controlling ETO design projects	2016	IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: design science research (DSR)
32	Kjersem K., Halse L.L., Kiegebos P., Emblemsvåg J.	Implementing lean in engineer-to- order industry: A case study	2015	IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems	E: action research (AR)
33	Kjersem K., Jünge G.H.	Improving planning process for ETO- projects: A case study	2016	IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems	E: single case study
34	Lennartsson M., Elgh F.	Exploring product development in industrialized housing to facilitate a platform strategy	2018	IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers	E: single case study
35	Li P., Jiang P., Zhang G.	An enhanced DMAIC method for feature-driven continuous quality improvement for multi-stage machining processes in one-of-a-kind and small-batch production	2019	IEEE Access	E: single case study

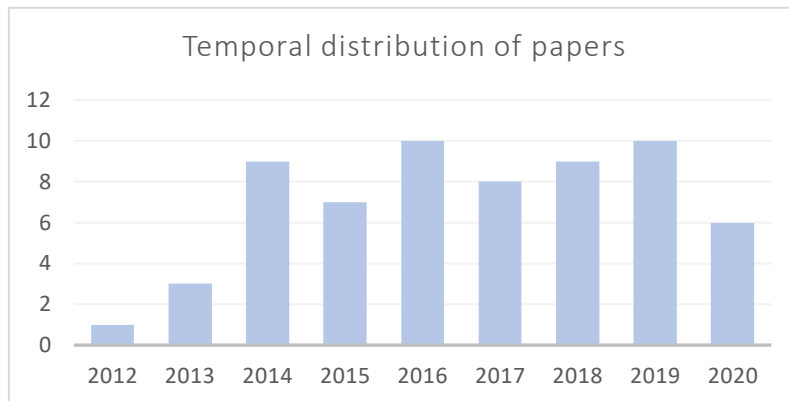
36	Matt D.T.	Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems: A case study	2014	Journal of Manufacturing Technology Management	E: single case study
37	Matt D.T., Dallasega P., Rauch E.	Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies	2014	Procedia CIRP	E: single case study
38	Murguia D., Urbina A.	Complex production systems: Non-linear and non-repetitive projects	2018	IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers	E: case studies and simulation
39	Peñaloza G.A., Viana D.D., Bataglin F.S., Formoso C.T., Bulhões I.R.	Guidelines for integrated production control in engineer-to-order prefabricated concrete building systems: Preliminary results	2016	IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: design science research (DSR)
40	Powell D., Strandhagen J.O., Tommelein I., Ballard G., Rossi M.	A new set of principles for pursuing the lean ideal in engineer-to-order manufacturers	2014	Procedia CIRP	E: case studies (2 case studies)
41	Powell D.J.	Kanban for lean production in high mix, low volume environments	2018	IFAC-PapersOnLine	E: case studies (2 case studies)
42	Raghavan V.A., Yoon S., Srihari K.	Lean transformation in a high mix low volume electronics assembly environment	2014	International Journal of Lean Six Sigma	E: single case study
43	Rauch E., Dallasega P., Matt D.T.	Synchronization of engineering, manufacturing and on-site installation in lean ETO-enterprises	2015	Procedia CIRP	T: conceptual
44	Seth D., Seth N., Dhariwal P.	Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: A case study	2017	Production Planning and Control	E: single case study
45	Stechert C., Scheck V., Fischer C.	Launching lean product development at a rail vehicle manufacturer	2019	Procedia CIRP	E: single case study
46	Strandhagen J.W., Vallandingham L.R., Alfnes E., Strandhagen J.O.	Operationalizing lean principles for lead time reduction in engineer-to-order (ETO) operations: A case study	2018	IFAC-PapersOnLine	E: single case study
47	Thajudeen S., Lennartsson M., Elgh F.	Impact on the design phase of industrial housing when applying a product platform approach	2018	IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers	E: Design Research Methodology (DRM)
48	Thomassen M.K., Alfnes E., Gran E.	A new value stream mapping approach for engineer-to-order production systems	2015	IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems	E: single case study
49	Tillmann P., Viana D., Sargent Z., Tommelein I., Formoso C.	BIM and lean in the design-production interface of eto components in complex projects	2015	IGLC 2015 – Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions	E: single case study

50	Tommelein I.D.	Collaborative takt time planning of non-repetitive work	2017	IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: single case study
51	Trevisan G., Viana D., Formoso C.	Role of loading plans in the control of work in progress for engineer-to-order prefabricated building systems	2016	IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: design science research (DSR)
52	Ulonka S., Welo T., Rølvåg T.	Leanification of the engineering process for customized road safety products	2018	Proceedings of International Design Conference	E: single case study
53	Varl M., Duhovnik J., Tavčar J.	Application of lean methods into the customised product development process of large power transformers	2020	Tehnički Vjesnik	E: case study
54	Varl M., Duhovnik J., Tavcar J.	Customized product development supported by integrated information	2020	Advances in Transdisciplinary Engineering	E: single case study
55	Viana D.D., Bulhões I.R., Formoso C.T.	Guidelines for integrated planning and control of engineer-to-order prefabrication systems	2013	IGLC 2013 - Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction	E: design science research (DSR)
56	Viana D., Formoso C., Wesz J., Tzortzopoulos P.	The role of visual management in collaborative integrated planning and control for engineer-to-order building systems	2014	IGLC 2014 - Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production	E: action research
57	Viana D., Tillmann P., Sargent Z., Tommelein I., Formoso C.	Analysis of HVAC subcontractor mechanisms for jit materials supply to a construction site	2015	IGLC 2015 - Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions	E: design science research (DSR)
58	Viana D.D., Tommelein I.D., Formoso C.T.	Using modularity to reduce complexity of industrialized building systems for mass customization	2017	Energies	E: case studies (2 case studies)
59	Villar-Fidalgo L., Espinosa Escudero M.D.M., Domínguez Somonte M.	Applying kaizen to the schedule in a concurrent environment	2019	Production Planning and Control	E: case studies (2 case studies)
60	Votto R.G., Fernandes F.C.F.	Lean production and theory of constraints: Proposal of a method for joint implementation in the engineer-to-order capital goods industry	2014	Gestão and Produção	E: action research (AR)
61	Xiong G., Zhao A., Nyberg T.R., Xiong G.	Change management on improvement project for success	2016	Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics	E: single case study
62	Yin D., Ming X.	A modular approach for lean product development (LPD) based on system engineering	2016	Proceedings of the 13th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management	T: conceptual
63	Zhou J., Zhang Q., Wang X., Xiao H.	Lean system design for engineer-to-order manufacturing	2016	Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)	E: case study and simulation

Table 11. Papers resulting from the material collection phase

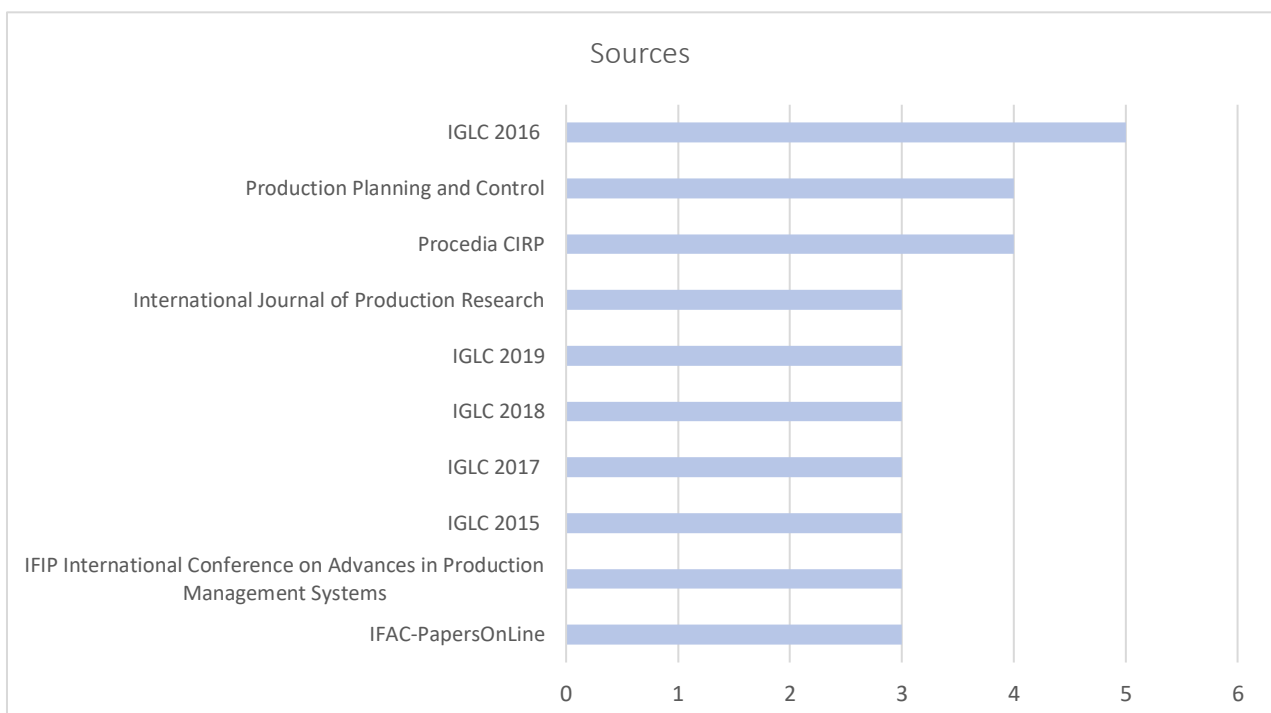
3.3. Descriptive analysis

The selected part of literature consists of papers ranging from 2012 to 2020, thus in a 13-year period. As Graph 2 shows, few articles were published in 2012 and 2013, while starting from 2014 the average number of publications raised up. Therefore, considering the whole 13-year period, an increasing trend is revealed, thus outlining a growing academic interest towards the topic. Either way, years showing the highest number of papers are 2016 and 2019 (10 papers each).



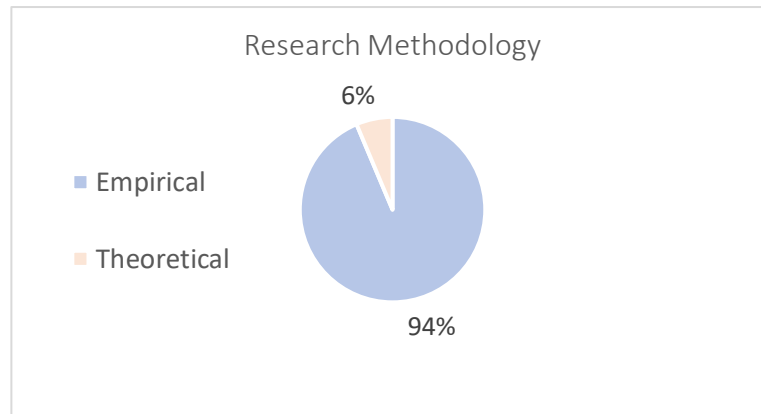
Graph 2. Temporal distribution of papers

As concerns the articles' sources, a widespread range of journals and conference proceedings has emerged. However, the *IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* exhibits the highest number of articles (5), and Graph 3 shows all sources providing at least three papers.



Graph 3. Most frequent sources

Simultaneously, Graph 4 reveals the methodology used by papers. Large part of them (59 articles, so 94%) followed an empirical approach (E), whose most used methodologies are: multiple or single in-depth case studies, design science research (DSR) and action research (AR). Conversely, theoretical papers (T) were very few (4 articles, so 6%), counting 3 conceptual frameworks and 1 literature review.

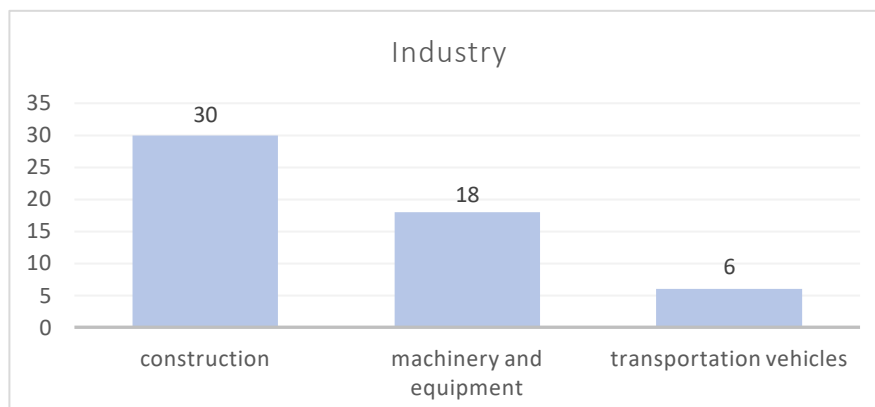


Graph 4. Research methodologies adopted overview

3.4. Thematic analysis

3.4.1. Industry distribution

Turning to the industries addressed by papers, many of them deal with a *construction* supply chain (31 articles), revealing so the high academic interest devoted to Lean construction. Construction industry is followed by *machinery and equipment* one (18 papers), while few articles were about the realization of transportation vehicles (6 papers), like train wagons or ships. Accordingly, Graph 5 shows these three most frequent industries. Besides, the remaining papers focused on other sectors, as steel constructions, road safety products and high tech products for the maritime sector.

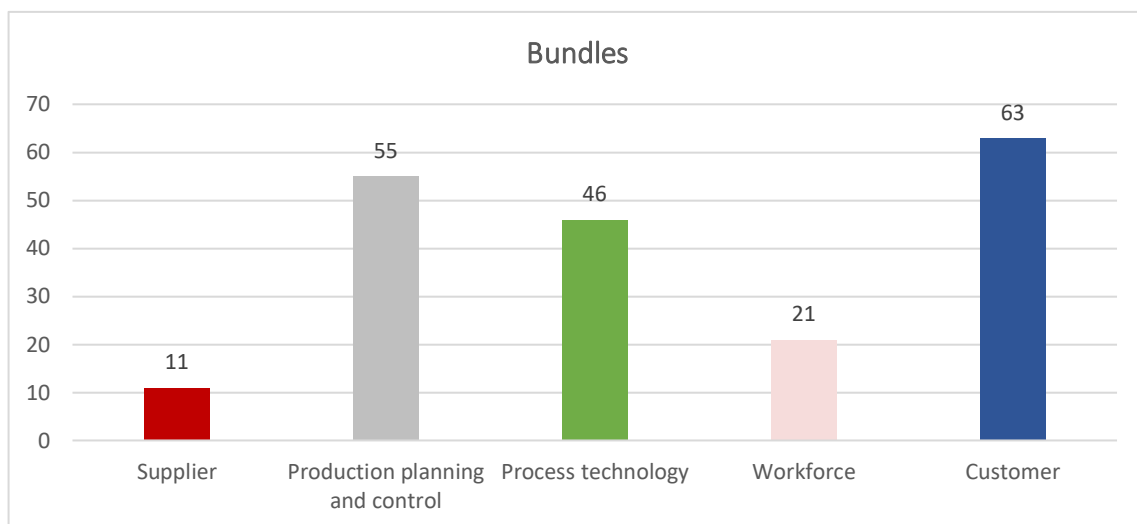


Graph 5. Most frequent industries

3.4.2. Research Questions findings

- RQ1a: *What are the lean practices applied in ETO companies?*

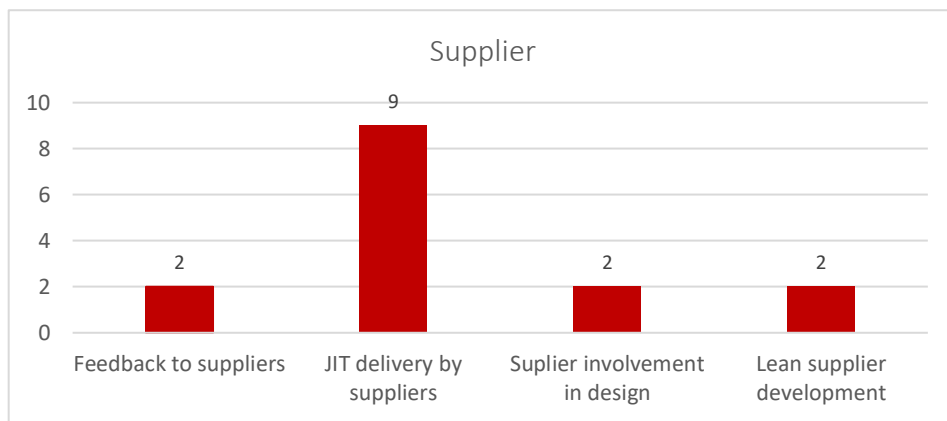
For the following analysis, the reference list of bundles and practices is the one presented in Section 2.1.3. Moreover, a paper is intended to adopt a bundle when at least one practice coming from that specific bundle is adopted. Based on these opening considerations, a high number of articles deals with the *Production planning and control* bundle (55 papers), which is immediately followed by the *Process technology* one (47 papers). Besides, *Workforce* and *Supplier* show a lower number of occurrences (respectively 21 and 12 papers). Finally, as regards *Customer*, a brief discussion is required. Its unique practice *Customer involvement*, indeed, is an intrinsic feature of the ETO business scenario since the goal of these firms is to accomplish specific customer requirements, making so the analysis of this bundle almost meaningless.



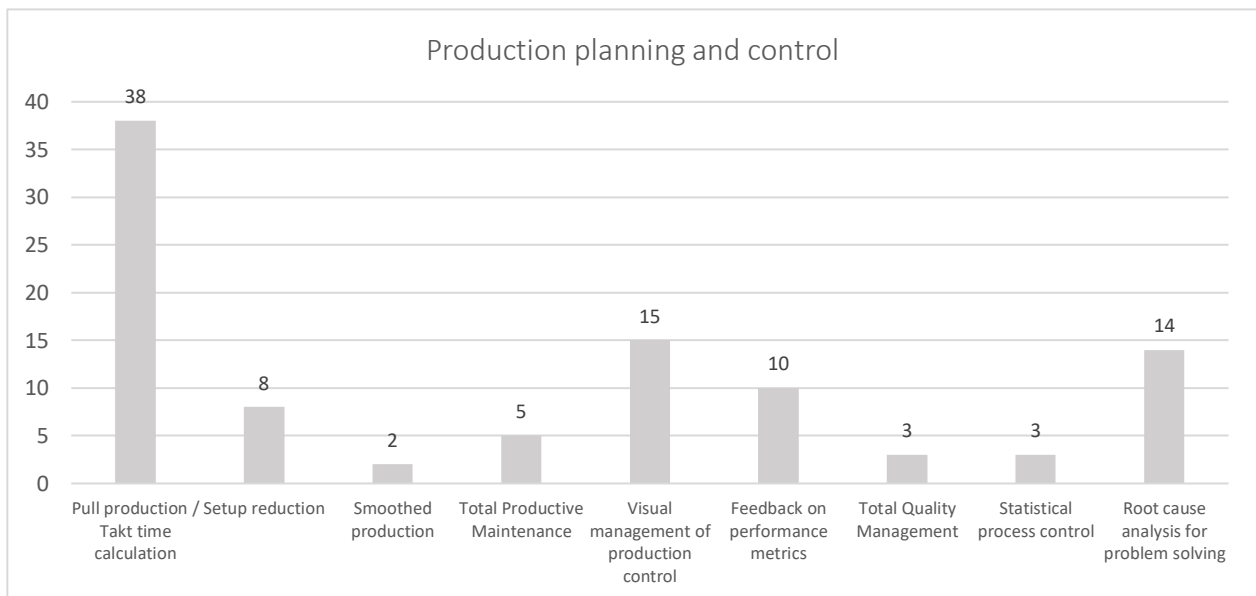
Graph 6. Bundles implementation

Going deeper, Graphs 7, 8, 9 and 10 reveal singles practices occurrences, while the *Customer* bundle is left out due to the brief consideration made upon. The *Pull production/Takt time calculation* technique dominates the ranking with 38 implementations: being the ETO production system pulled by the customer order, this result is not surprising. Accordingly, push production (or rather based on forecast) rarely takes place due to the high demand variability, limiting the adoption for only not-customizable components. *Pull production/Takt time calculation* is then followed by two practices coming from the *Process technology* bundle, namely *Process improvement/Kaizen* and *Parts standardization/Modularisation* (16 articles each). The first one shows how Lean in the ETO companies, like other ones, relies on a continuous better-performing approach. Conversely, the second practice is quite surprising since the ETO environment generally conceives

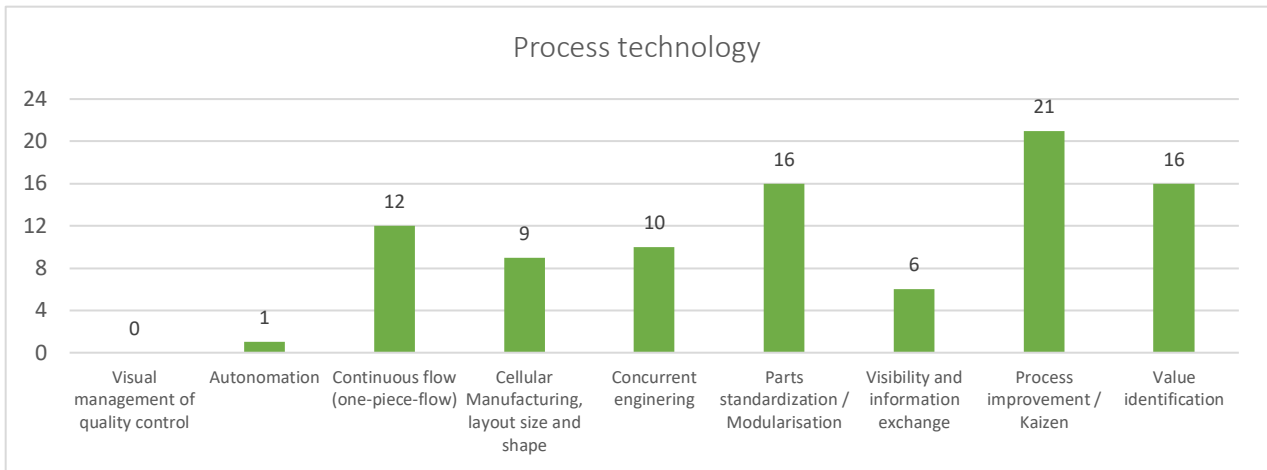
a one-of-a-kind approach, thus making the standardization too challenging at first sight. Nevertheless, selected literature shows how standardization and modularisation are either way applied for not-customizable components or in terms of a platform strategy. Obviously, the goal is to increase standardization without hampering the variety of products, a key success factor for this kind of production systems. Then, another frequent practice is *Continuous improvement* (15 papers), i.e. the involvement of workers in formal and informal problem-solving challenges, as well as the *Visual management of production control* (15 articles), a typical lean practice consisting in different visual tools.



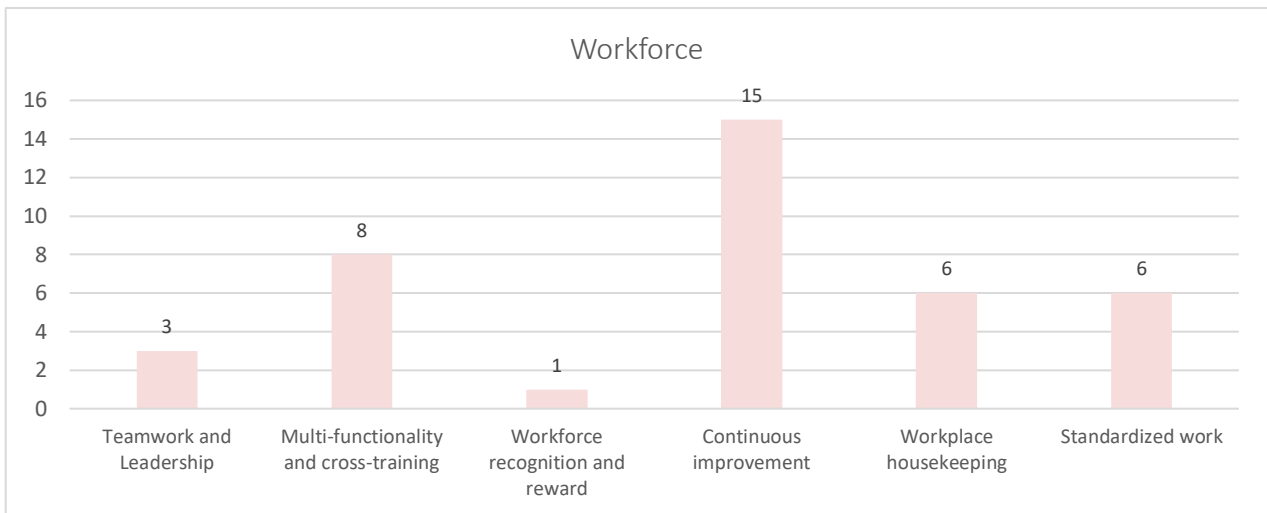
Graph 7. Supplier bundle's practices implementation



Graph 8. Production planning and control bundle's practices implementation



Graph 9. Process technology bundle's practices implementation

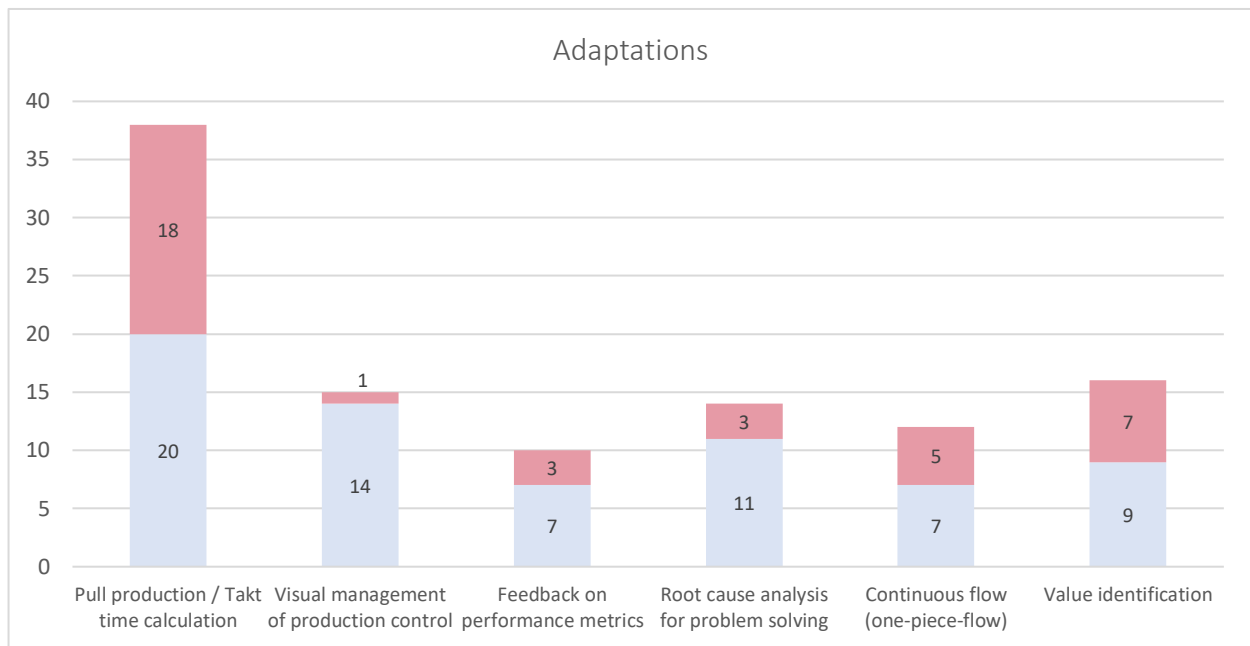


Graph 10. Workforce bundle's practices implementation

- RQ1b: *How are these practices applied?*

RQ1b tackles “how” lean practices are implemented, so whether specific ETO-adaptations are revealed. Accordingly, a strong assumption was made: a practice is considered "adapted" if specific adaptations or new suitable practices/indicators are explicitly written or they are easily deductible from the text. Indeed, the ETO environment is very different from the repetitive one, and so practices can be tailored and/or extended to better suit this challenging context. Graph 11 exhibits only practices presenting at least one adaptation, and their “adjustment percentage” is provided too: the light blue part of each bar accounts for non-adapted implementations, while the red one concerns the adapted ones. In view of these considerations, the most adapted practices are *Pull production/Takt time calculation (47%)*, *Value identification (44%)* and *Continuous*

flow (46%). For instance, by looking at the *Value identification* practice, several articles develop a tailored VSM (value stream mapping) that look upon peculiar complexities of the ETO environment. Another practice showing some adaptations is *Feedback on performance metrics*, since the new environment often requires specific metrics rather than traditional ones, just like the *Root cause analysis for problem solving*, which shows how problems and wastes in an ETO environment might demand a custom analysis.

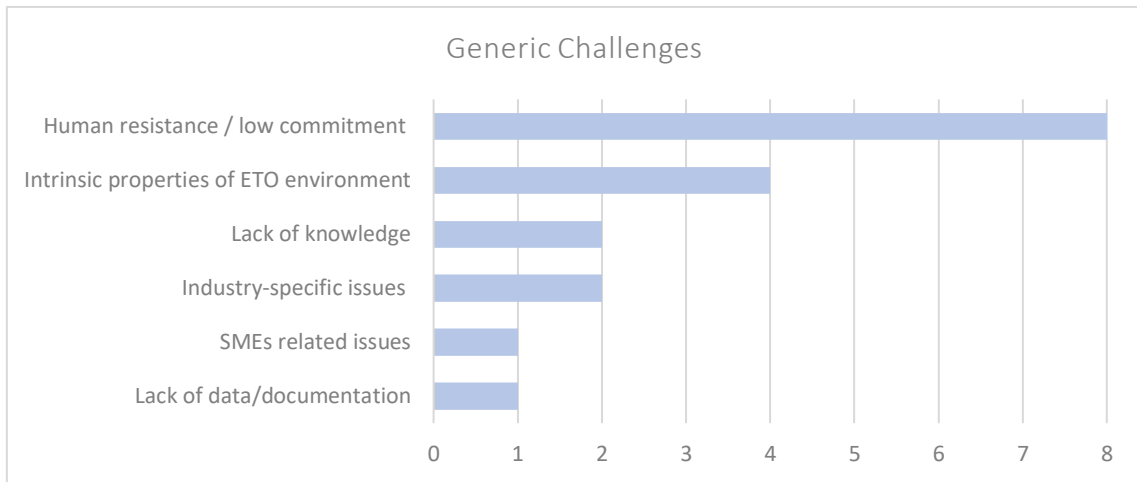


Graph 11. Overview of practices adaptations

- RQ2: *What are the main challenges ETO companies encounter in implementing lean practices?*

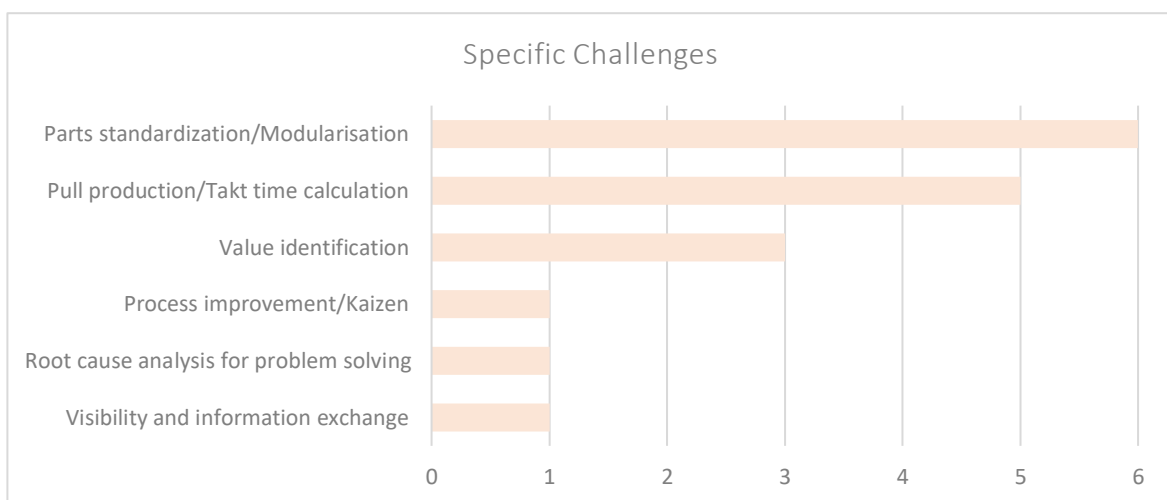
The second Research Question goes through the difficulties faced by ETO companies while implementing lean practices. In depth, the analysis grounds on the assumption according to which challenges registered are only those explicitly written in the text or easily deductible. Issues are partitioned in two different levels, namely generic challenges and specific challenges. The first ones are not related to any technique, whilst the second ones are specific for a single practice.

Graph 12 lists generic challenges with their occurrence. Beyond the Intrinsic properties of ETO environment (i.e. high complexity and variability), which represents the second most cited challenge (4 papers), ranking is headed by Human resistance/low commitment (8 papers). This hurdle is quite usual for Lean implementation regardless of the environment, and therefore it's not appropriate to consider it an ETO-specific issue. Besides, other challenges are Lack of knowledge and Industry-specific issues (2 papers each).



Graph 12. Generic challenges with their occurrence

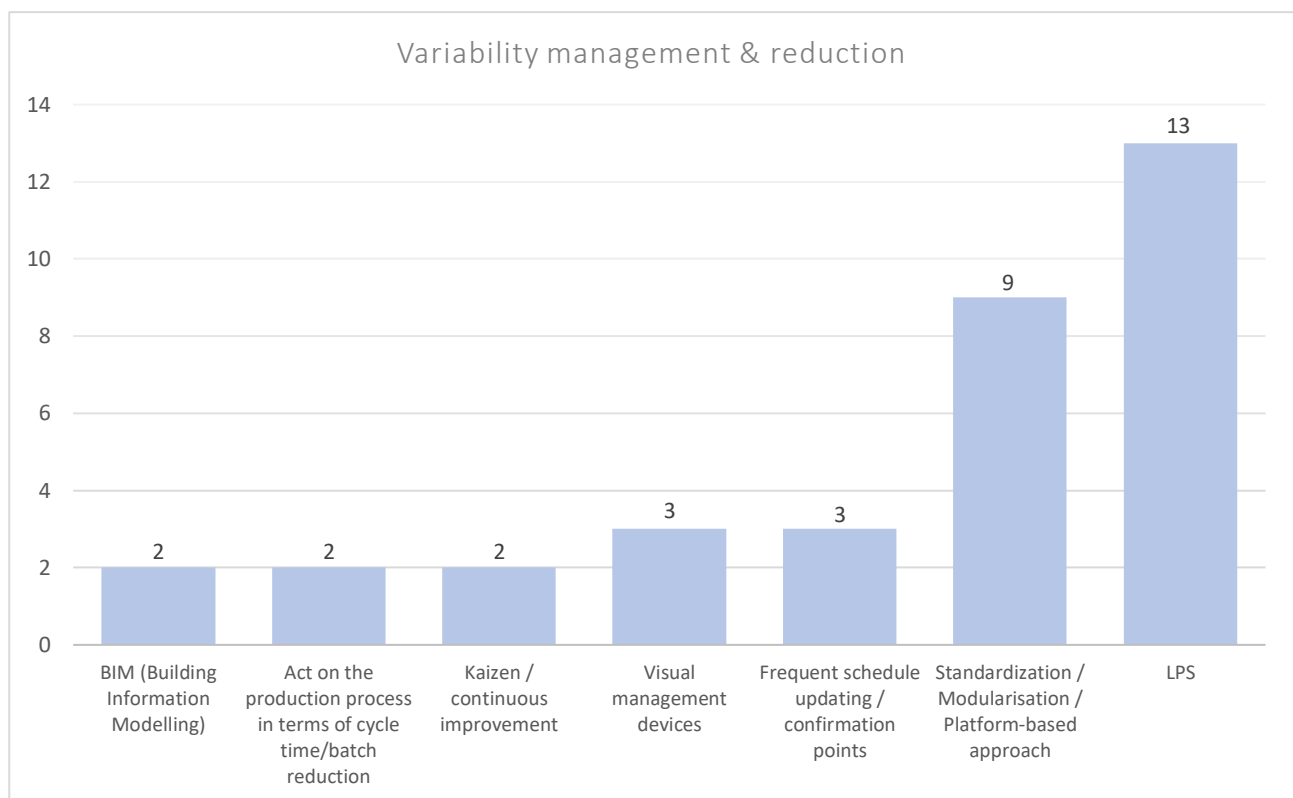
On the other side, Graph 13 reveals challenges encountered by companies while implementing specific lean practices. Not surprisingly, the technique recurring in the highest number of papers is *Parts standardization/Modularisation* (6 papers). Indeed, the ultimate goal is to lower variation while preserving the creativity which is necessary for the creative process (Varl et al., 2020a). Also *Pull production/Takt time calculation* registers a good quantity of papers mentioning related challenges (5 papers), and this could be also explained by the high number of occurrences of the practice itself, as well as by non-repetitive processes that hinder the definition of a suitable takt time. Another troubling practice is *Value identification*; as such, 3 papers deepen the VSM application issues in an ETO context.



Graph 13. Specific challenges with their occurrence

- RQ3: *How do these practices support variability reduction and variability management?*

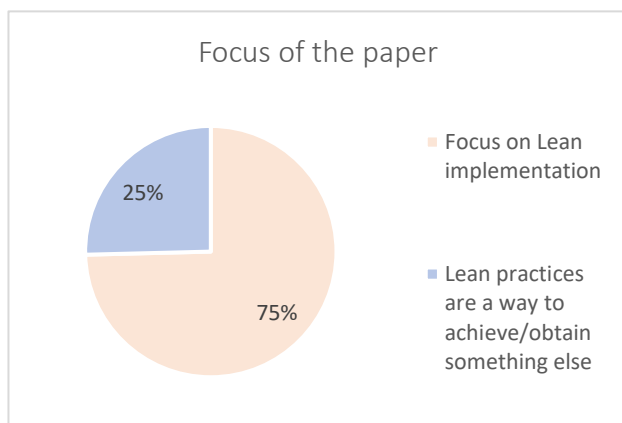
The answer to the third Research Question is based on the following assumption: variability management and reduction aspects registered are only those for which the word “variability” is explicitly written. Namely, only cases whose variability management/reduction purpose is cited are included, and techniques not belonging to the reference list are gathered too. Consequently, the most used approach to cope with variability is the Last Planner System (LPS) with 13 papers. Accordingly, it has been argued that the Last Planner System is a way for shielding production activities from variability (Gonzalez et al., 2008). LPS is followed by the Standardization/modularisation/platform-based approach (9 papers), while other methodologies like Frequent scheduling/Confirmation points and Visual management devices (3 papers each) register a low number of occurrences. An overview is offered by Graph 14, in which only practices whose occurrence is higher or equal than “2” are figured.



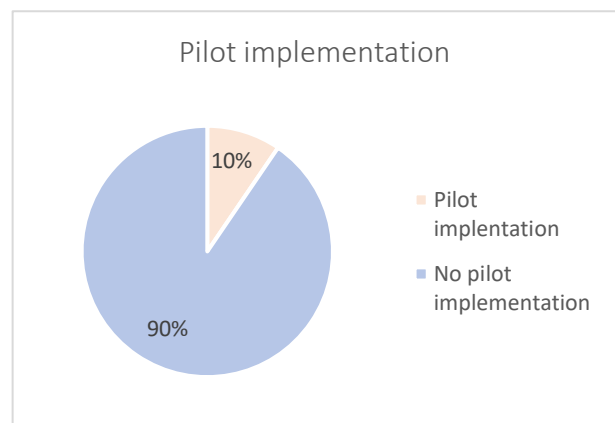
Graph 14. Lean practices and other techniques explicitly aimed at reducing or managing variability

3.4.3. Additional findings

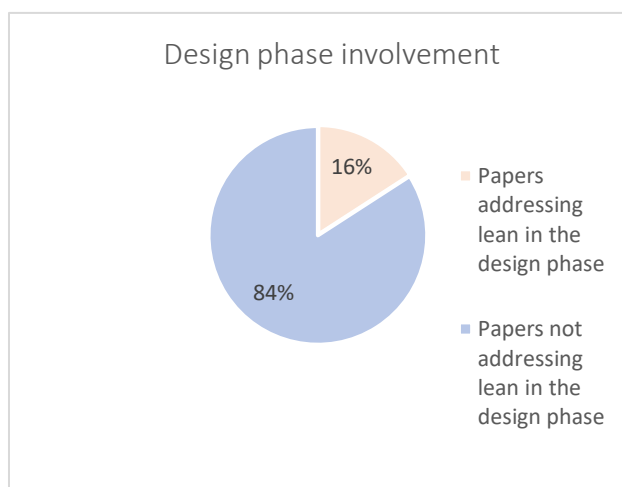
Beyond industries and Research Questions, the material collected offered other interesting insights. A first outcome is that 47 out of 63 papers (74,6%) have a lean practices implementation as its *primary focus*, while in remaining 16 (25,4%) these techniques are a way to implement or achieve something else. Moreover, a *pilot implementation* in a wider Lean entering path is mentioned only 6 times (9,5%), while the 57 papers left (90,5%) do not reference it. Another fascinating result states that only 10 papers (16%) deal with a Lean approach in the *design phase*, although it represents a crucial activity in the ETO business scenario. Finally, 48 out of 53 articles (10 are not judgeable as follows) exhibit a *successful implementation* of lean technique/s, whilst 2 refers to a failure, 1 concerns a partially success (it is explicitly said that some performances improve, while others decrease) and for 2 papers results are not obtained yet.



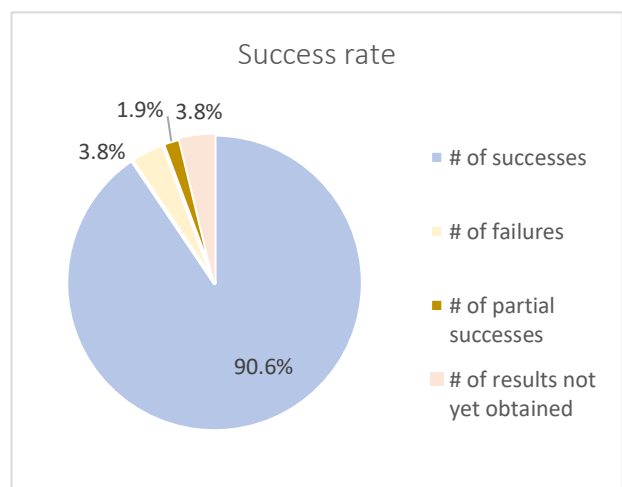
Graph 15. Primary focus of papers



Graph 16. Pilot implementations



Graph 17. Design phase involvement



Graph 18. Success rate of lean techniques

3.5. Insights on SLR results

The previous section has basically presented the quantitative results of selected material. However, some interesting comments and insights on these outcomes can make the literature review more attractive and valuable.

3.5.1. What can machinery learn from construction?

As the thematic analysis revealed, *construction* and *machinery and equipment* are the most studied industries, with 30 and 18 papers respectively. The first one has shown a higher Lean maturity, thus stating the raising importance of the so-called Lean construction. This term, indeed, refers to different lean practices that were transferred and adapted from production to construction and to other methods which were developed specifically for the construction industry (Koskela et al., 2002).

⇒ Pull production/Takt time calculation

The practice implemented in the construction industry which has revealed the most interesting adaptations is *Pull production/Takt time calculation*. This technique joins two strongly related concepts of Lean philosophy, namely pull production and takt time, and for the following analysis they will be managed independently. Starting from the takt time, in some papers the construction building is divided into a specific number of control zones, and all trades involved have to shift from one control area to the next, working in each of these areas for the specific takt time selected. In some papers control zones are set within each building floor [papers 1, 25, 38, 50], while in some others the control area is the floor itself [papers 2, 26]. Additionally, paper 7 has developed a weekly takt time approach for buildings with replicable elements, by exploiting such similarities to calculate and apply the takt time. In light of these considerations, the concept of control zones might be transferred and properly tailored to the machinery and equipment industry, where the only remarkable adaptation of takt time is proposed by paper 48. In depth, an average takt time for the critical value stream is proposed, which is considered more appropriate for an ETO environment (Slomp et al., 2009).

About pull production, above all it's worthwhile recalling that papers dealing with construction operations concern a building site that pulls the fabrication plant. Hence, the pull concept is applied according to the internal system status rather than the customer demand (Hopp and Spearman, 2004).

Delving into methods used to implement the pull mechanism in the construction industry, paper 3 quotes the use of kanban cards, while others implement a ConWIP regulation circuit [papers 20, 22, 37].

Furthermore, paper 19 introduces a lean supermarket between prefabrication and final assembly of ETO components, thus creating an ATO (assembly to order) manufacturing system pulled by the construction site demand.

Likewise, the *machinery and equipment* industry reports different implementations and adaptations of the pull production concept. Two papers address the use of a ConWIP regulation circuit [papers 28, 60], while only one cites kanban cards [paper 12]. Additionally, a very rational approach is proposed by papers 48 and 63. Indeed, they propose a different pull process for each different part typology of ETO products. For instance, according to paper 63, parts can be divided into Common parts, DTO (Design to order) parts and DTO parts with key parts. Only the first type allows for a lean supermarket, while for the others a ConWIP system seems more suitable.

⇒ Continuous flow

Beyond different implementations and adaptations of *Pull production/Takt time calculation*, the *Continuous flow* practice reports a frequent peculiar adaptation in the construction industry that can be transferred also in the machinery and equipment one. Although papers refer to this approach with different names, e.g. Pitch-set-flow [paper 19], One-pitch-flow [papers 20, 21] and One-set-flow [paper 37], the baseline concept is the same: rather than moving a single piece (one-piece-flow), continuous flow is achieved by processing a set of components at once. Again, this extension can be extended and properly tailored to the machinery and equipment industry, which has not shown a similar methodology in the literature considered. Accordingly, continuous flow in the machinery industry is proposed only for common parts and there are no innovative ways to emulate a continuous flow.

⇒ Concurrent Engineering & Visual management of production control

The *Concurrent engineering* practice has been implemented in 6 papers dealing with the construction industry [papers 1, 19, 20, 21, 43, 49], whilst in only 2 referring to the machinery and equipment one [papers 31, 59]. Likewise, *Visual management of production control* is more frequent in the construction industry (8 papers) than in the machinery and equipment one (3 papers). Hence, numbers suggest a poor exploitation of such practices in the machinery sector, thus providing another proof of the higher Lean maturity achieved by the construction industry.

3.5.2. Practices rarely or never implemented

Some practices belonging to Table 8 were never or rarely implemented. For instance, no papers deal with the *Visual management of quality control*; probably this technique requires a high number of copies of the same product, and the ETO environment hampers replications. Likewise, only paper 44 introduces the *Autonomation* in the manufacturing plant and, again, the poor adoption might be justified by the ETO system incapability to ensure the repetitiveness demanded by autonomation. By way of conclusion, another practice which was rarely implemented is the *Workforce recognition and reward* [paper 10], but there are no immediate motivations explaining this limited occurrence.

3.5.3. Variability management and reduction

Results of thematic analysis (RQ3) unfold techniques used by ETO companies to reduce and/or manage variability. Accordingly, it's worthwhile making a distinction between practices presenting a variability reduction purpose and those solely allowing a variability management.

The first category encompasses: the Last Planner System; the Introduction of a lean supermarket, exploited in a fabrication plant to compensate the demand variability coming from the construction site [paper 19]; the Use of visual devices [papers 5, 11, 56] and the Acting on production process in terms of cycle time/batch reduction [papers 6, 11].

Conversely, practices supporting companies to only manage variability are the Frequent schedule updating/confirmation points [papers 37, 39, 57] and the BIM (Building Information Modelling) usage [papers 5, 49].

Simultaneously, some techniques relate to both management and reduction purposes: the Kaizen/continuous improvement approach [papers 11, 63] and in particular the Standardization/modularisation/platform-based approach.

The described analysis has pointed out that this last practice is the second most used one, and it's newsworthy to investigate whether it is applied in its three main perspectives: product, process and SC standardization/modularisation. Indeed, the focus on product is the most frequent one [papers 34, 47, 52, 53, 54, 58, 62], while process is addressed in only 3 papers [papers 23, 31, 58]. The SC modularity, lastly, is applied only in paper 58, thus outlining an exploitation lack in the literature analyzed.

3.5.4. Variables affecting lean practices implementation

As mentioned in the Introduction (Section 1), some variables may impact the adoption of some lean practices. For commodity, the chosen attributes are here reported:

- Structured Lean
- Theoretical basis
- Large companies

About the first two dimensions, sometimes papers show references to them, but any benchmark between the presence and the absence condition of such dimensions is carried out. Thereby, no remarkable hints at the first two dimensions were detected.

Conversely, the third variable finds a match in paper 24, which explains how small and large manufacturing shops differ in introducing lean practices in their operations. More exactly, the paper states that *“when an organization has fewer than 50 employees it is difficult to have full time employees focused on lean strategies”*, as well as *“one challenging aspect of lean training in small shops is the drastic interruption in production during training due to the limited number of personnel. In comparison, in large shops, staff training is more feasible without significant interruption in daily operations”*. Thereby, Djassemi (2014) claims that resource limitation of small companies hinders the adoption of lean principles, although the paper offers an implementation plan suited for small manufacturing shops anyway.

The variable Product portfolio, for instance, was excluded. Indeed, the clear difference outlined by the literature is the one between construction and machinery, while gaps between single products (inside the latter, for instance) were not properly addressed, making the variable Product portfolio unexploitable.

3.6. Potential literature gaps

Thematic analysis and related insights have accurately tackled the three Research Questions. During results' presentation potential literature gaps were also expressed, and for commodity they are recalled here:

- Too few papers about machinery with respect to construction.
- Most papers focus on Lean implementation under an operational point of view rather than its strategic role.
- Too few papers deal with the Lean implementation in transactional activities, and in particular in the design phase, a crucial activity for ETO companies.
- Few implementations on practices belonging to the supplier bundle.
- Few implementations of practices belonging to the workforce bundle.
- Quite often papers do not explain how lean practices adopted affect variability management or reduction.

Overall, results reveal the low maturity level of literature about Lean in ETO companies, even though the number of papers in the last 13-year period shows a growing interest towards the topic.

In light of all these observations, an empirical case study results complementary to the SLR, although answers to the Research Questions are partially already provided. Indeed, a case study ensures to tackle such questions through a different perspective, and thus to empirically validate or disconfirm some of the gaps reported above. In addition, this methodology allows to better investigate issues that literature might neglect, providing so a more detailed and comprehensive lookout.

4. Methodology

4.1. Theoretical framework

4.1.1. Qualitative research

As stated in the Introduction (Section 1), Research Questions were tackled by adopting a two-fold approach. A first answer emerged from the systematic literature review largely explained in the previous section (Section 3), while the second big path is the case study, namely a research methodology that falls into the wider bunch of “qualitative methodologies”. Therefore, it’s worthwhile to first understand what qualitative research is, and only later deepen case study features.

Qualitative methodologies “*attempt to interpret human phenomenon, often in the words of selected individuals (the informants)*” (Heath, 1997). Thus, they encompass any research type whose findings are not achievable by statistical procedures or other means of quantification. In a qualitative methodology data are collected from multiple sources, such as observation, interviews, videos, documents, and quantitative data as well. The ultimate goal is to build new theory, and this is definitely different from the quantitative research purpose, which is to basically test existing theory.

4.1.2. Case study design

As mentioned before, the handpicked qualitative methodology is the case study, defined as “an empirical inquiry that investigates a contemporary phenomenon within its real-life context, when the boundaries between phenomenon and context are not clearly evident and in which multiple sources of evidence are used” by Yin (1981). Plus, case studies adopt non-mathematical and non-statistical methods to analyse phenomena.

Lean implementation in the ETO environment is encountering a raising attention from management researchers, but the theme is not so new to justify the adoption of an exploratory case study, which is generally used when a given phenomenon is new and mostly unknown, and the lack of theories does not allow to formulate hypotheses ex ante the investigation. Conversely, an explanatory case study seems to be more suitable to the thesis work, as it grounds on theories and hypotheses to make a contribution to the theory.

Typically, case study methodology definition consists in a two-step process:

1. Identification of the case unit/s of analysis (holistic vs embedded perspective)
2. Selection of the case/s to include in the research process (single vs multiple approach)

About the first step, the perspective adopted is the holistic one, and lean practices (listed in Section 2.1.3) represent the unit of analysis. On the other hand, the second point (about cardinality) concerns a multiple case study since more ETO companies will be explored. To sum up, more than one context will be selected, and a single unit of analysis will be investigated in each of them (see the green rectangle in Figure 9).

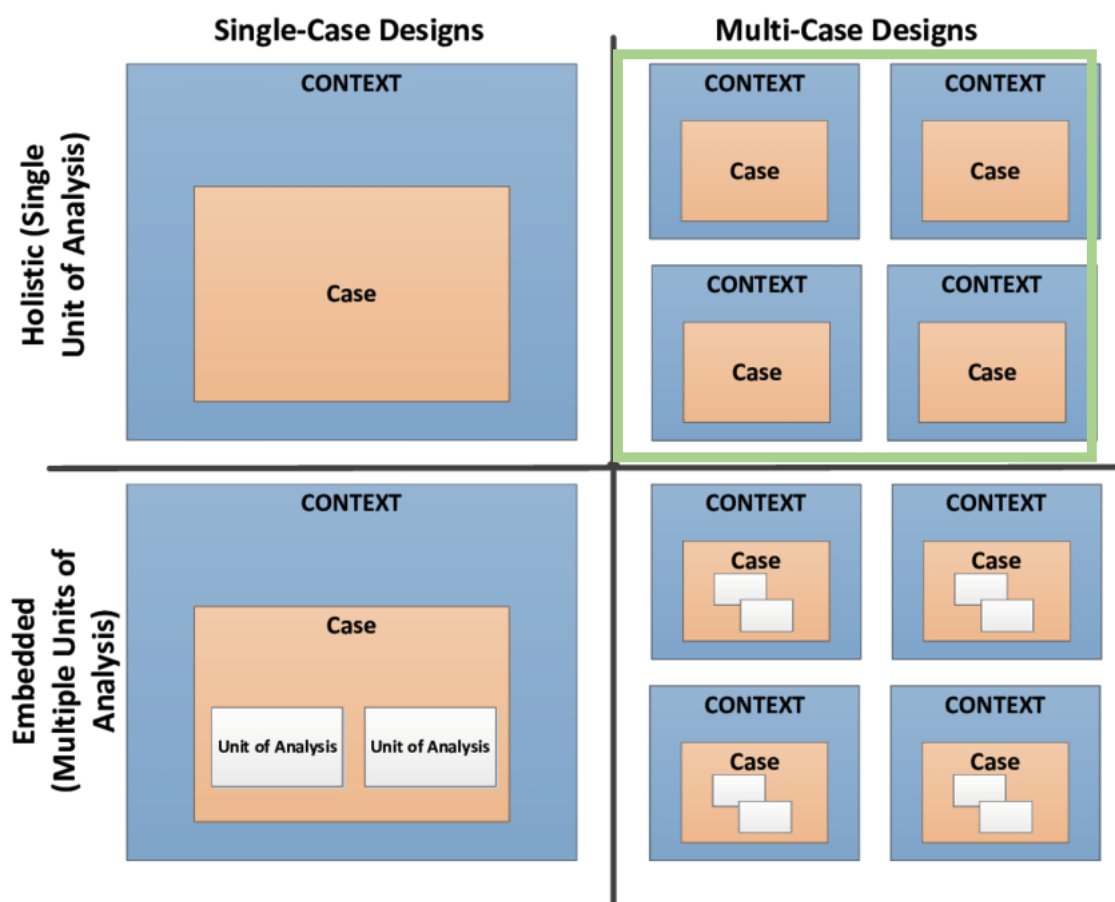


Figure 9. Case study design choices - Yin (2013)

4.2. Context of analysis

4.2.1. Machinery industry

First and foremost, the scenario of the analysis is limited to only one sector to have more reliable and less biased data. Either way, ETO industry encompasses a varied set of companies in terms of strategic goals, supply chains and planning approaches. As such, the goal is to get a homogenous sample, which might assist the analysis of selected lean practices and their adaptations, as well as related challenges and variability impacts assessment.

In light of these initial considerations, the handpicked research context is the machinery industry, and a first motivation comes from the systematic literature review results. Indeed, it is the second most addressed sector after the construction one, and the insights interestingly revealed its high and not-exploited yet potential in terms of Lean implementation.

Overall, the machinery industry is a great example of the ETO business scenario due to the production of capital goods and the high customization level, as well as the demanded flexibility to accomplish the ever-growing customization-responsiveness trade off. A holistic view of ETO machinery companies is provided by the recent study carried out by Adrodegari et al. (2015). In depth, researchers bring out an empirical framework to classify the most important PPC (Production Planning and Control) activities performed by an ETO machinery company, more exactly by framing them in the reference schema of M. Porter (1985).

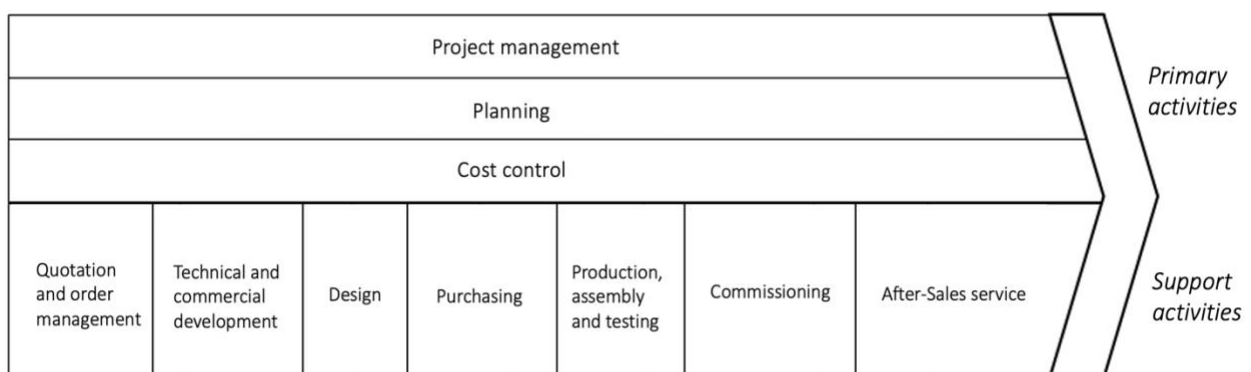


Figure 10. Main business activities of a machinery-building company - Adrodegari et al. (2015)

4.2.2. Italian machinery industry

More accurately, the case study was restricted to the Italian machinery industry. Reasons behind these boundaries are mainly three, and they match those defined by Cannas et al. (2020) in a recent study just about the machinery sector:

- The companies belonging to the machinery industry design and manufacture capital goods, which are considered as representative of the ETO issues. (Adrodegari et al., 2015; Cannas et al., 2019; Dekkers, 2006; Veldman and Alblas, 2012).
- Italian machinery-building companies are among the world's top producers and exporters due to high-quality level, technological innovation, customization, and flexibility (source: Federmacchine, 2017).
- Troubles faced by Italian machinery companies in the last decades because of globalisation are perfectly aligned to the research analysis, especially in relation to players coming from the Asia-Pacific area. Indeed, they are changing the competitive arena by offering products at low costs and lead times, leading other key players to adopt new techniques like lean practices for coping with this global pressure.

The Italian machinery industry counts more than five thousand companies and over two hundred thousand of employees. The turnover registered in 2020 is about 41.4 billion €, meaning a 14.4% decrease from the previous year, while exports represent the 67% of the total production (Source: Federmacchine 2020). As stated in the 2nd reason before, the “Made in Italy” label is worldwide appreciated, and this excellent status let the country play a leading role in the entire European scenario. Contextually, the following table exhibits some economic numbers of the Italian machinery industry in the last 3-year period (2018-2020).

	2018	2019	2020	19/18	20/19
Turnover	50.049	48.417	41.424	-3,3%	-14,4%
Export	33.483	32.376	27.785	-3,3%	-14,2%
Internal sales	16.566	16.041	13.639	-3,2%	-15,0%

Table 12. Italian machinery sector for the triennium 2018-2020 - Gruppo Statistiche Federmacchine

4.3. Sampling process

Once defined the boundaries of the analysis, the selection of companies was performed. From now on, activities were performed together with a thesis student of the LIUC (Carlo Cattaneo) University, since our dissertations targeted the same themes, and both included a case study section.

The case study sampling process leveraged on the “AIDA” database, which allowed to extract a list of Italian companies according to different parameters. Specifically, filters imposed were:

- ATECO code: starting with “28”
- Turnover: between 1 and 100 million €
- Employees: between 20 and 500
- Activity description: must contain the word “machines”

The first constraint involves the ATECO code (“ATtività ECONomiche”), namely the Italian translation of the NACE code (from the French *Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne*), which represents a classification system used to systematize and standardize the definitions of economic/industrial activities in countries belonging to the European Union. Accordingly, filtered numbers started with “28”, as it concerns the “Manufacture of machinery and equipment n.e.c.”. Second and third constraints set an upper and a lower limit for company size, since too large firms usually create bureaucratic issues and take too much time to perform e-mail reply activities, while too small organizations are less likely to implement lean practices (e.g. Shaw and Ward, 2003). Finally, the fourth filter was basically a “guarantee check”.

The obtained list was accurately analysed and reordered according to the turnover in a descending way. Indeed, as stated before, the probability to find a company implementing lean practices is usually higher when size is not too small. Gradually, companies’ websites were wisely visited one by one, and those mentioning something about Lean (e.g. TPS, WCM, or other key words) were selected to be contacted. Once a first pool of 30 potential companies was obtained, an e-mail containing a short version of the questionnaire was sent (the entire questionnaire can be found in the Annex) in order to let companies know our research topic. As expected, some companies didn’t reply, as well as others revealed us to not apply any lean practice.

Through this systematic process, companies granted were eight. The initial schedule was to first perform these eight interviews and then, if necessary, to enlarge the sample. As it will be better explained later, the eight companies interviewed provided a heterogeneous sample according to different relevant attributes, thus making the sample expansion unnecessary.

4.4. Data gathering

This thesis work was developed during the Coronavirus pandemic, which resulted in several travel restrictions too. Therefore, interviews were conducted remotely by using dedicated platforms (such as Skype or Microsoft Teams), and the only exception was company 1, which gave us the opportunity to visit the production plant and thus to interview the referent right on site.

The questionnaire was basically developed in the light of the three Research Questions, including also some demands aimed at classifying companies according to the 2D-CODP framework, as well as at briefly introducing the company itself (e.g. revenues, markets, competitors). Either way, the entire survey can be read in the Annex.

Overall, the main tool adopted was the semi-structured interviews, which represent a great mediation between standardized and unstandardized shape. Indeed, they concern a set of open-ended questions used as a starting point to drive the discussion, and by implication interviewees are allowed to go beyond answers, thus adding interesting points. Thereby, such a mechanism leaves free space to express further concepts and enriches the data set collected. In our case, semi-structured questions were about selected lean practices, and informants oftentimes added insights.

In our e-mails, we kindly asked to talk with people well prepared in lean practices. As a consequence, we then interfaced with a COO (Chief Operating Officer), a production manager or a Lean officer if she were present. Most of the time there was only one respondent, while in just two cases a couple of people joined the meeting. Interviews lasted about 1 hour, and all companies authorized us to record the entire discussion. Every single time a meeting was completed, we put together personal thoughts and started a very brief analysis of data freshly collected. Like this, we improved our ability to lead a speech and gained experience in terms of time-management, as well as we became more aware of following meetings' possible results.

Data collected during meetings were then triangulated with information coming from other sources like documents published by the company, websites or video. However, due to the very specific topic discussed, other streams didn't provide the desired effect, pushing us to mainly rely on speeches' transcriptions.

Finally, beyond each single case analysis, we performed a cross-case analysis, with the ultimate goal of satisfying the three Research Questions from an empirical point of view.

5. Case studies results and insights

5.1. Overview of the case studies

Before starting to present lean techniques implemented in each single case study, it's valuable to deliver a description of the research sample. Companies are therefore briefly introduced by the following table. More accurately, information about the headquarter, revenues, employees, sector and referents/s are provided.

Company ID	Headquarter (province)	Revenues [M€]	Employees	Products	Referent/s
1	Milano	5,2 (2020)	40 (2020)	Robots and complete painting systems	Production Manager
2	Treviso	80,5 (2019)	150 (2019)	Machines for the production of chipboard panels	Industrial Process & Planning manager
3	Pordenone	95,3 (2019)	230 (2019)	Drilling and foundations machines and equipment	Production manager
4	Biella	18,6 (2020)	110 (2020)	Industrial dosing systems	Company chairman
5	Parma	82,9 (2019)	370 (2019)	Lifting and handling systems (elevators)	Industrial Engineering manager (+ HR Business Partner)
6	Milano	16,75 (2020)	60 (2020)	Machines for chip removal	Chief Operating Officer
7	Venezia	96,5 (2020)	400 (2020)	Industrial automation systems	Kaizen & Quality manager (+ Group Marketing Manager)
8	Bergamo	24,7 (2019)	160 (2019)	Industrial manipulators	Operation Manager

Table 13. Case studies - AIDA at 10/06/2020

5.2. Single case analysis

In this section single case studies will be developed. More to the point, companies are quickly presented, and related lean practices are illustrated. By doing this, a holistic view of each firm will be deployed, thus creating a baseline for the upcoming cross-case analysis presented in Section 5.3.

For each company, the analysis will be articulated in 2 segments:

- Introduction: providing general information about the company, e.g. sector, turnover, employees and products portfolio. This section terminates with the 2D-CODP framework positioning (although motivations behind each positioning are presented in the Annex).
- Lean assessment: including a description of practices implemented by companies. The speech is divided according to the lean bundles and their related practices (a newline is added for each practice, and each paragraph refers to a single bundle).

Case study 1

Introduction

Headquartered in Dairago (MI), the first company produces and markets anthropomorphic robots for industrial painting. Luckily, we were able to perform a guided tour at the HQ, thus making the meeting more immersive and exciting. For this reason, the following case study will be partially more detailed than the others, for which we purely carried out remote interviews.

The company was founded in 2010 by partners who had previously gained experience in the sector, and they were keen to leverage their knowledge to undertake an entrepreneurial path. In more recent years, the company has been registering an annual turnover between 3 and 6 million € and still counts less than 50 employees.

The firm operates both as a manufacturer of its own anthropomorphic robots, and as a "system integrator" of turnkey automation solutions. In the latter field, a crucial turning point was the partnership established in 2017 with a German market leader of the anthropomorphic sector. To date, company 1 relies on a very widespread commercial network to operate either in the domestic market or in foreign countries such as Turkey, US and Mexico. In depth, abroad sales constitute the 70% of company turnover, while Italy covers the remaining 30%.

The current production capacity of the company guarantees from 70 to 80 robots per year, and customers belong to a wide spectrum of sectors, or rather painting for the automotive, fixtures, chimney hoods, glasses frames, brake calipers, household appliances, aerospace and marine sector. Due to this variety of application fields, the company is forced to comply with different regulations. For instance, paints represent an explosive material, and the reference standard is the ATEX one. In addition, concerning trade rules, company 1 must fulfil the CE standard in Europe and the UL one in US. And thereby, to comply such certifications, different components need to be inserted into the robots to allow the export.

Anthropomorphs with 6 degrees of freedom make up the 95% of production, while the remaining 5% consists of systems having 5 degrees of freedom, and this unbalanced scenario takes place since the first solution guarantees customers a greater production flexibility. Overall, painting robots can be provided with the self-learning ability, which represents a key success factor for company 1. Indeed, the robot is initially put on “zero” and then operators are allowed to move the painting arm in order to simulate all movements that the robot will have to perform. This is enabled by some encoders recording robotic arm positions at every time instant, and then by the machine learning algorithms, which consequently let machines carry out the cycle.

As far as production is concerned, company 1 is performing a shift from Make to order to Finalize to order. Simultaneously, also the position on the engineering process is going to change, as the increasing modularisation is enabling a transfer between Major changes and Minor changes.

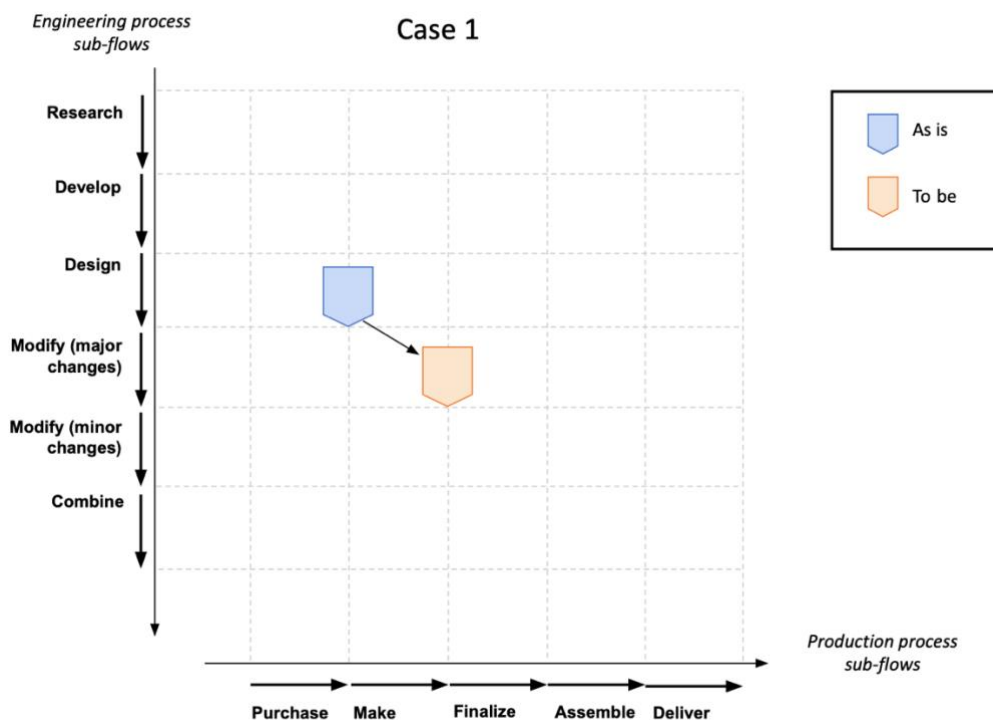


Figure 11. Positioning in the 2D-CODP framework of company 1

Lean assessment

Company 1 has recently embarked on a structured Lean development program especially thanks to the collaboration with the i-FAB of the LIUC (Carlo Cattaneo) University, and we had the great opportunity to interview the manager in charge of supervising this path. Lean implementation in the company mainly addressed the production department, which saw the introduction of significant enhancements. Either way, the overall Lean implementation process of company 1 deals with the adoption of several techniques to boost performances.

The *Supplier bundle* is poorly implemented. At the moment, for instance, the practice *Feedback to suppliers* is not performed, although the manager is willing to implement a more structured monthly reporting in the near future.

Moreover, there is not a *JIT delivery by suppliers*, and therefore not even a structured kanban system with them. Indeed, replenishment grounds on open orders guaranteeing the company pre-established quantities of components and, more importantly, ensuring delivery securities.

Lean supplier development is missing, but a first step towards this practice is convincing suppliers to ship different components in independent packages.

Regarding the *Production planning and control* bundle, it's overall remarkable the shift performed from a chaotic environment to a much more manageable one. This enhancement was achieved through progressive steps, by starting to observe the whole production department and the different workstations, and then by analyzing WIP in the assembly activities in order to identify the *muda* of the current scenario. Simultaneously, the information flows within the company were analyzed to make communication channels faster and more effective. As stated before, the shopfloor before changes was very confusing, enough to say that the equipment, semi-finished and finished products were all placed without any distinction, thus resulting in severe production inefficiencies and significant risk sources for workers' safety. The noise of the whole structure was very loud and was mainly caused by machineries for metals. In addition, the internal requests of the company were often handled by telephone messages and the availability of drawings in the shopfloor forced technical department employees to move in and out of the production plant. Therefore, these issues were properly addressed, resulting in a more sorted, low-noise and organized workspace. Additionally, a separated parts warehouse was created, and the assigned worker is directly informed by assemblers when they need components, thus replenishing them to the factory.

About the *Pull production*, neither kanban tags nor a takt time pace is implemented.

Nevertheless, the company is trying to smooth its operational capacity (*Smoothed production*) by storing a ready-to-deliver painting robot in the warehouse, aiming so to saturate the production capacity in low-workload moments and be prepared to face demand peaks. The company goal is to produce seven complete

anthropomorphs monthly and maybe shift to eight in the near future. Although these anticipated activities started few months ago, production has not been able to put a robot in stock yet, as the new demand absorbs the extra production each time. Another way to level workload concerns also the production of a large order in the idle time. For instance, an American customer ordered 20 anthropomorphs to be delivered within the year, but unfortunately the above-discussed solution has not been fully delivering the desired results.

The company tried also to implement some *Visual management of production control* related devices, and above all by introducing a dashboard (created with the Microsoft PowerBI software) displaying the progress status of each workstation. As a result, assemblers report on the dashboard the various operations depending on whether they are not started, in progress or finished, thus leading the software program to calculate the completion percentage of each work. Insofar, this dashboard acts as a digital Andon, and future developments are heading towards even the report of any problems and non-conformities in the assembly. Then, the *Feedback on performance metrics* technique is implemented, and in particular a system monitoring breakdowns and idle times was introduced.

About the *Process technology*, a *Visual management of quality control* is missing, even though the new quality documentation is moving in that direction.

Continuous flow is then partially adopted since the missing materials hamper its frequent use.

For what concerns the *Cellular manufacturing*, the production shop floor articulates in six fixed stations for the robotic arms' assembly, one position for the construction of rides and carousels, and another one for axial assemblies. As such, robots are set up in predefined locations, and although this configuration is different from the tight line as prescribed by Lean, it's remarkable to underline contextual improvements.

About *Concurrent engineering*, an attempt to anticipate problems is made by involving the production department right at the design phase, thus limiting the proliferation of variability along the value chain.

As concerns the *Parts standardization/Modularisation*, efforts of company 1 in this direction are remarkable. More accurately, a standard framework for all robots in the wiring phase has already been set, and the modular basis from a mechanical point of view is likewise a target. Thus, the production up to the half height could be anticipated, hence confining customizations to the upper part of the arms; robots indeed can have different lengths and configurations depending on clients' needs. This milestone would also help smoothing production by pre-launching the common base and hedging the risk of accumulating obsolescent stock.

Besides, *Visibility and information exchange* level is very high, and it was strongly enhanced by the PowerBI dashboard previously described. Accordingly, information is available also to the commercial department, which can consider the current workload before making a sale. In addition, each robot brings a tag containing information on the arm model, the identification serial number, the serial number of the associated panel, info about the customer with her nationality and the main characteristics of the product, as well as a QR code. By scanning such code, operators can access technical data sheets, information on the customer and photos of the inspections already carried out. Furthermore, to make the technical material more usable, a

PC workstation was created to lead operators download the necessary drawings without the involvement of the technical office. Concurrently, it is also planned to equip assemblers with tablets to make the information even more usable within the organization.

The *Process improvement/Kaizen* philosophy in company 1 is exclusively linked to the production manager (our referent). It is therefore very limited and devoid of structured practices or events.

Shifting focus to the *Workforce* bundle, Lean is very developed. To begin with, *Teamwork (and leadership)* is leveraged when problems arise, thus involving more people for the resolution finding.

In addition, the staff has been trained about the 5S methods for the *Workplace housekeeping*.

A flexibility lever is then the *Multi-functionality and cross-training* of the operators: workers must be able to perform all the assembly operations.

About the *Standardized work*, a manual for the assembly was created, and it is accessible through the QR code of each robot. However, this documentation must be constantly updated by the production manager, which enters data manually.

The last bundle is the *Customer* one (with its practice *Customer involvement*). Company 1, like almost ETO companies, is strongly customer-oriented, and a ticket system to gather feedback after the installation of the anthropomorphs has been developed.

Despite the enhancements already made, company 1 is willing to continue its Lean improvement path by introducing new production technologies. First of all, the company is planning to set a vertical warehouse for the management of small parts in order to prevent any stock-out and manage orders independently. Whether this solution will not be possible, a small parts holder system with balance could be created in order to always monitor the stock quantity of material. Besides, components are nowadays placed inside boxes in a disorderly manner, and a series of trolleys loading all components (from the heaviest and most voluminous ones, such as the arms of the anthropomorph, up to the small parts) are thought to be introduced. In conclusion, the contact person was satisfied with the path taken by the company in the Lean world.

Case study 2

Introduction

The second company produces and sells systems for the production of chipboard panels. Founded in 1976, the firm has its operational headquarters in Ponte di Piave (TV). To date, it counts about 150 employees and registers an annual turnover of around 80 million €.

Product portfolio mainly concerns plants for the construction of wood paneling, which represent the historic company business, but in recent years also projects dedicated to the recycling and treatment of municipal and industrial waste (which fall under the corporate section "Green") were added. As far as the commercial network is concerned, the 20% of orders for plants producing chipboard panels come from the domestic market, while the remaining 80% involve foreign customers (e.g. in recent years especially China). On the other hand, the "Green" division related orders mostly come from Italy, and in particular from state-owned companies.

Contextually, the company is certified by the CQOP body ("Costruttori Qualificati Opere Pubbliche"; in English: Qualified Builders of Public Works). Additionally, sawdust is highly flammable and forces plants to fulfil the ATEX standard. In addition, the organization complies with the ISO9001, and therefore relies only on suppliers that are in turn certified.

Plants produced and sold by company 2 are made up of different machines, either realized by the company itself or by other companies belonging to the group. To date, production is able to build around 20 machines per month, with a maximum yearly capacity of 250. Moving focus to the product customization, company 2 relies on a catalog which lists all main construction technologies integrated in the system, which will then have to undergo a 20% of customization on average. Overall, three engineering departments are required to design the systems sold: the first is specialized in the plant engineering part, the second is dedicated to the machines and the third focuses on the electrical part.

About the positioning of company 2 in the 2D-CODP framework, the engineering process is performed as a Modify to Order, and in particular with Major changes. Regarding production, the company starts the production activities upon the order validation, and therefore the proper positioning is the one here provided.

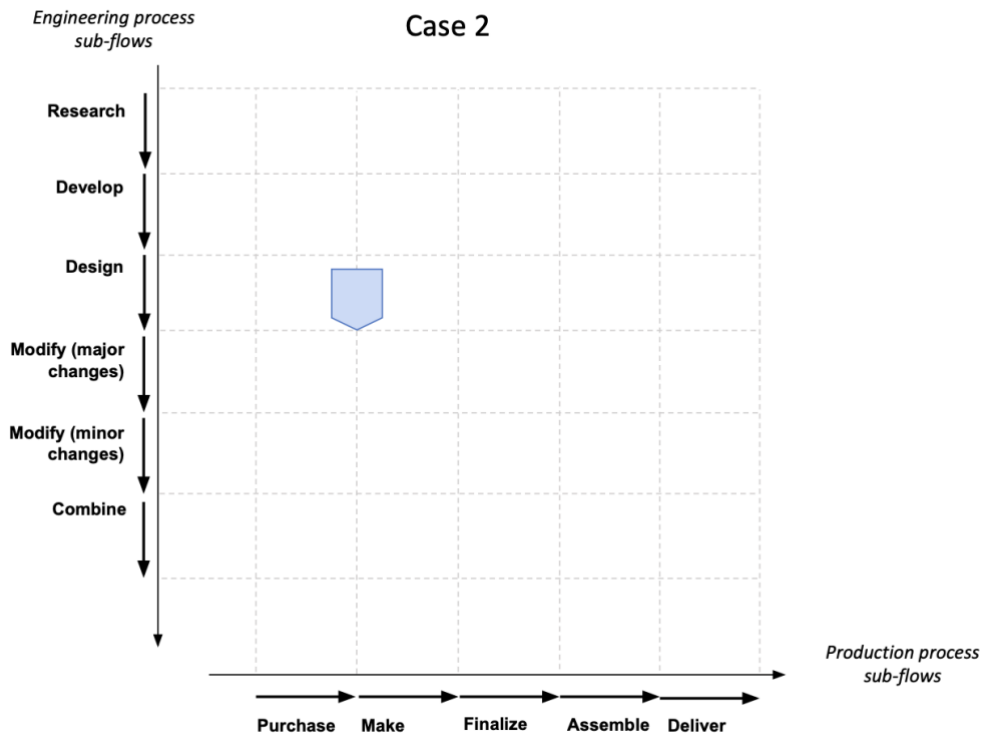


Figure 12. Positioning in the 2D-CODP framework of company 2

Lean assessment

The overall Lean implementation level of company 2 is much more limited than the one in the previous case study, and the whole Lean path rotates around the adoption of kanban tags, which will be better explained in the dedicated bundle.

The only *Supplier* bundle's practice implemented is the *JIT delivery by suppliers*, although it is limited to critical situations and can be carried out with only a selected set of suppliers. Overall, the selection of suppliers represents a strategic issue because the company is ISO9001 qualified and accepts only certified suppliers, just as previously stated.

As concerns the *Production planning and control*, the production is obviously pulled by demand (*Pull production/Takt time calculation*), and the high costs for system construction and related customizations limit the immediate production upon the order arrival to only those units forming the "hard core" of the systems. As previously stated, the core of Lean development in company 2 is the internal kanban, and reasons explaining its adoption concern the economic perspective and resource optimization. The change has mainly

addressed the component warehouse, and especially the C codes of the Pareto analysis. Moreover, the kanban introduction required to literally "get hands dirty", as many items were in stock for a long time and the disorder was considerable. By adapting this lean practice to the peculiar ETO environment, the company allows employees to bring the kanban boxes even out of the warehouse, thus creating *delocalized lean supermarkets*. As a consequence, workstations act as delocalized supermarkets, which are consequently replenished by the central supermarket. Overall, company 2 estimates that the implementation of the Kanban system allows to save around 100,000€ yearly.

About *Feedback on performance metrics*, indicators have been introduced both in the production and assembly phases. Simultaneously, there is a constant time measurement for different steps aimed at evaluating standard deviations and assess the order status. In addition, this regular time reporting is used to update the standard times for future cycles.

Finally, as concerns the *Root cause analysis for problem solving*, company 2 implements some related activities, albeit not structured.

Next bundle is the *Process technology* one. Regarding the *Cellular manufacturing*, the shopfloor layout is not product-oriented. Indeed, the final assembly can only take place in fixed positions due to the large size of plants, whilst components production is organized as a job shop.

As previously mentioned, the three engineering departments of the company collaborate for developing the plant design, thus enabling a partial *Concurrent engineering*.

For the *Parts standardization/Modularisation*, a strong constraint is that each customer has a different material type to be processed, and consequently demands different functional needs. Nevertheless, a standard part for machineries to be produced just upon the customer order arrival was identified.

The *Visibility and information exchange* great level is guaranteed by the IT systems, which also monitor the work status.

Overall, it's worthwhile that all production processes are subject to a *Process improvement/Kaizen* policy.

About the *Workforce*, it's first and foremost remarkable the key role played by operators for Lean implementation: by avoiding resistance to change, they greatly supported the process.

Then, the different departments such as assembly and painting rely on *Teamwork* activities.

As concerns the *Workforce recognition and reward*, the company provide some corporate targets, and therefore a single operator reward system is missing.

Nonetheless, employees are constantly trained to update and expand their knowledge, with a view to *Continuous improvement*.

Furthermore, workers re-organize and clean their workstation every evening, as prescribed by the 5S (*Workplace housekeeping*)

The work of the operators is organized by means of *Standardized work* procedures, both for the assembly and for the machinery department, thus enabling a more precise time monitoring of various operations, as well as achieving a process variability reduction.

As concerns the *Customer involvement*, such an investment requires the client strong involvement in the product development. The reference market is very complex, and these systems also take strong implications for both customers and communities in which they are built. As a consequence, the design phase can last even years ahead of the contract: an extensive series of technical considerations must be agreed before the production start, and they include compliance with safety standards and anti-seismic criteria, as well as a general assessment of the environment in which the system will be introduced. Additionally, the company is provided with the customer's material to test machinery performance (e.g. there is a substantial difference between virgin and recycled wood chipboard), and also the environment in which the system will be located affects its characteristics. For instance, some processes must be carried out in a cold space compared to a warmer one. Customer service also concerns a prompt assistance in cases of plant shutdown, whose occurrence can cost tens of thousands of euros per day.

At a quick glance, it would seem that the only lean technique implemented by company 2 is kanban. Nonetheless, thanks to the interview we conducted, it was possible to extrapolate how this reality is much leaner than thought by even itself.

Case study 3

Introduction

Founded in 1963, the third company is headquartered in Fontanafredda (PN). It operates in the drilling machinery sector and its product portfolio is basically divided into 2 segments: "large drilling" machineries, in turn divided into machines for poles and machines for diaphragms, and "small drilling" machineries. In recent years, turnover was around 100 million €, while employees are roughly 250. To date, the yearly production capacity is approximately 150 machines, but in 2008 (the formal Lean implementation year) the outcome was incredibly 550 units. Company 3 sells its products all over the world and achieves from 95% to 97% of its turnover abroad, by often facing challenging geopolitical situations. Nevertheless, the Italian market has gained ground in most recent years by reaching peaks of 10%, also because of Industry 4.0 incentives. Currently, there are at least 2 bigger competitors than company 3. However, its strength lies on an optimal size, which allows to balance demand and budget needs, as well as on a strong financial position. Indeed, larger competitors have been struggling to reach the break-even point.

Customers are very different and range from large multinational contractors, which can invoice billions of euros per year, to companies subcontracting the foundations construction, renters, and the "little entrepreneurs" owning no more than two production units. Such variety of customers combined with the several applications of concerning machines leads to ever-growing requests for customization and adaptation. This trend was magnified after the 2008 crisis when, after a difficult period, product variability exploded.

Machineries produced by company 3 have a weight ranging from 3 to 200 tons. Those for poles generate holes with a circular section, whose maximum diameter is 2m and maximum depth is 90m. On the other hand, machines for diaphragms can dig rectangular-section holes for a maximum depth of 100 m. As stated before, both of these machines fall into the "large drilling" category and can make holes only along the vertical axis. Contrarily, "small drilling" machines are able to orient the drilling arm in all directions, present a much lower weight, and are used for anchorages, small poles, coring and geothermal purposes.

To place company 3 in the 2D-CODP matrix, it is worth recalling that part of the finished product is produced or purchased on a forecast basis, and upon the order arrival the firm operates in a Finalize to order mode by putting together and eventually customizing parts already available. Contextually, the ad-hoc part for the customer is carried out.

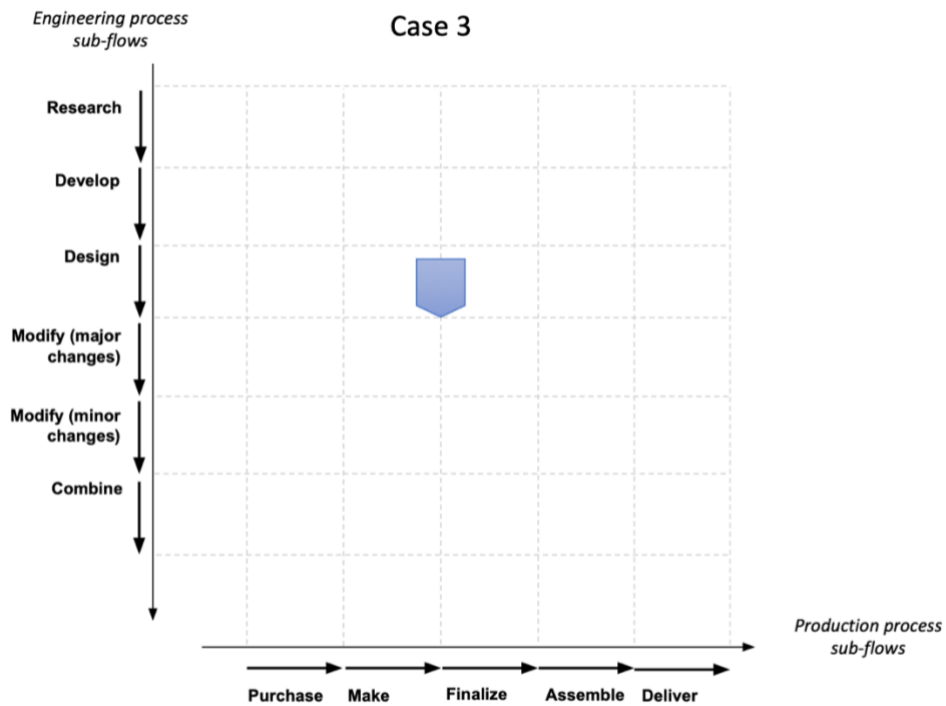


Figure 13. Positioning in the 2D-CODP framework of company 3

Lean assessment

The Lean orientation of Company 3 began with a so-called "kaizen event", namely a moment in which company resources are leveraged to achieve rapid and tangible improvements. Naturally, lean enhancements continued also upon the kaizen event, right in the wake of a continuous improvement approach. The referent explained us how some challenges were so though, but his experience gained in some guided tours (made in Toyota and Porsche) and the consistent sales before 2008 ensured the ideas and the courage needed to undertake the Lean path.

As concerns the *Supplier* bundle, the *Feedback to suppliers* practice is carried out, although reports are not structured. By doing so, it's possible to both monitor and classify them according to pre-established indexes. To meet production needs, company 3 attempted to create a system which was as JIT as possible, but the implementation turned out to be limited due to the production volumes and delivery times of suppliers. Therefore, a component warehouse is present inside the factory, albeit minimal. In our interview we were given the example of diesel engines: on average, for each engine in the line there are two or three in stock. Still about *JIT delivery by suppliers*, company 3 enabled a supply of components through kanban, and this is performed not only for small parts, but also for quite more valuable components. Obviously, not all pieces

can be delivered through a kanban policy, and especially the more voluminous ones. Nevertheless, the referent revealed his intention to boost the JIT delivery in the next future.

Regarding the *Production planning and control* bundle, one of the biggest problems faced by company 3 was the creation of a moving assembly line to manufacture its products, and so to establish a one-piece-flow logic as occurs in many large companies in the automotive or aerospace sectors. Weight of drilling systems was around 25 tons, thus forcing company 3 to dig into the ground to create rails on which move machineries. Originally, the higher production volumes and the low customization requests enabled the application of a perfectly balanced *Pull production* logic, and a dedicated line was accordingly created for each product type. Unfortunately, things are different today. Indeed, due to the demand decline and the variability outbreak, company 3 is forced to assemble several different products on the same line. Therefore, if the takt time of a line was previously one and a half days with a maximum of two, today the same line hosts machines requiring from 190 to 300 hours of work, thus making its management more complex and preventing company to perfectly beat at the takt time pace.

To partially solve this problem, the heijunka box was introduced, hence leveling the workload given by different products as much as possible (referring to *Smoothed production* practice).

As far as *Feedback on performance metrics* is concerned, the referent mentioned a paper form which is compiled by workers to report machine downtime and working hours. This reporting system, however, obliges the foreman to insert what is written on papers into the IT system every evening, with a consequent increase of workload and non-value-added time. Moreover, the risk to incur in transcription errors bears the truthfulness of such data.

About the *Process technology*, *Continuous flow* had been successfully applied in the first Lean introduction in the factory, but then, as we explained before, such technique was gradually abandoned.

Parts standardization/Modularisation requires an insight. For years, the referent (Production manager) has been pushing to modularise products as much as possible, also by attending dedicated courses. Anyhow, given the large time consumption in design, it has been successfully applied only for some parts of machineries. Indeed, starting from scratch allows to have a project in ten days, whilst beginning from modular components increases the time up to twenty days.

For *Visibility and information exchange* there are on-going studies for providing operators with tablets or monitors, but the more suitable hardware between them has not been found yet.

As regards the *Value identification*, Lean application saw the VSM exploitation, and further introductions were based on its results.

The *Workforce* has been involved in the change, and even today training courses are organized. About *Multi-functionality and cross-training*, the company has been investing, although the job rotation is not regularly performed. Contextually, *Workforce recognition and reward* is limited to second-level agreements. Also the *Continuous improvement* for operators is not fully adopted, limiting their involvement. About the *Workplace housekeeping*, instead, the 5S practice is implemented. Finally, also *Standardized work* is performed.

As far as the relationship with the *Customer* is concerned, more and more often customization requests for machineries are received, and this trend began in 2008 with an explosion of variability. The relationship with the customer is crucial also in the assistance phase. A failure can cause tens of thousands of euros in losses due to the huge penalties to which the construction sector is subject, for instance. Another raising trend concerns client's operators, which are increasingly less experienced and trained, thus leading to a higher number of assistance requests.

Overall, company 3 is very structured in the Lean field both in terms of techniques number and knowledge on the subject. The anomaly of this company, if compared to the whole sample, is that it first implemented Lean and then turned effectively into an ETO company. Consequently, it had to adapt its processes, techniques and even entire plants to the Lean production system.

Case study 4

Introduction

Company 4 operates in the industrial dosing sector. It was founded in 1970, and the operational center is set in Cossato (BI). Until the 1990s, company 4 was a small handicraft activity, whose reference business was the textile sector. In that decade, it significantly grew by targeting the industrial automation for powders and liquids dosing; then, during the 2000s, a diversification began, thus entering other sectors like rubber, plastic and food.

Nowadays, production is internally divided according to the final market, presenting so a distinction between the textile sector (1st segment) and the other ones (together creating the 2nd segment). About 114 employees currently work in the Italian headquarters, which is able to generate a yearly turnover of 18 million euros. A large extent of sales is made abroad, with peaks of even 90% in past years, while now foreign customers represent the 75% mainly thanks to the Industry 4.0 subsidies in Italy. Today company 4 is able to produce 10 to 12 large plants and 40 to 50 small plants for the textile sector per year, while for other fields of application the yearly outcome is about 30 machines. The cost of machinery and plants produced ranges from 40,000 € (for the cheapest ones) to 700,000 € for a standard product, and up to 2,5 million € for the largest and highly customized plants.

To strengthen its presence outside the national borders and ensure proximity to customers, company 4 has built some offices abroad. To date, there is a branch in Turkey founded in 2008, where a manager is in charge of sales and technical assistance; a branch in Shanghai (China), built in 2011 and counting six employees dedicated to both sales and after-sales assistance, and finally it is close to opening an office in the US.

The Italian operational center relies on two automatic vertical warehouses where tubular products and sheet metal are respectively stored. Moreover, company 4 is able to produce on forecasts about the 80% of the components needed to realize machineries, and to this purpose laser cutting technologies are leveraged. Upon request, the warehouse is able to independently prepare the material necessary for processing and, whether necessary, also the order to be issued to the supplier. On the other hand, about the design process, most of the customers provide functional requests to the company 4, which consequently needs to engineer the most suited plant. For all these reasons, we placed company 4 in the 2D-CODP framework as shown in Figure 14.

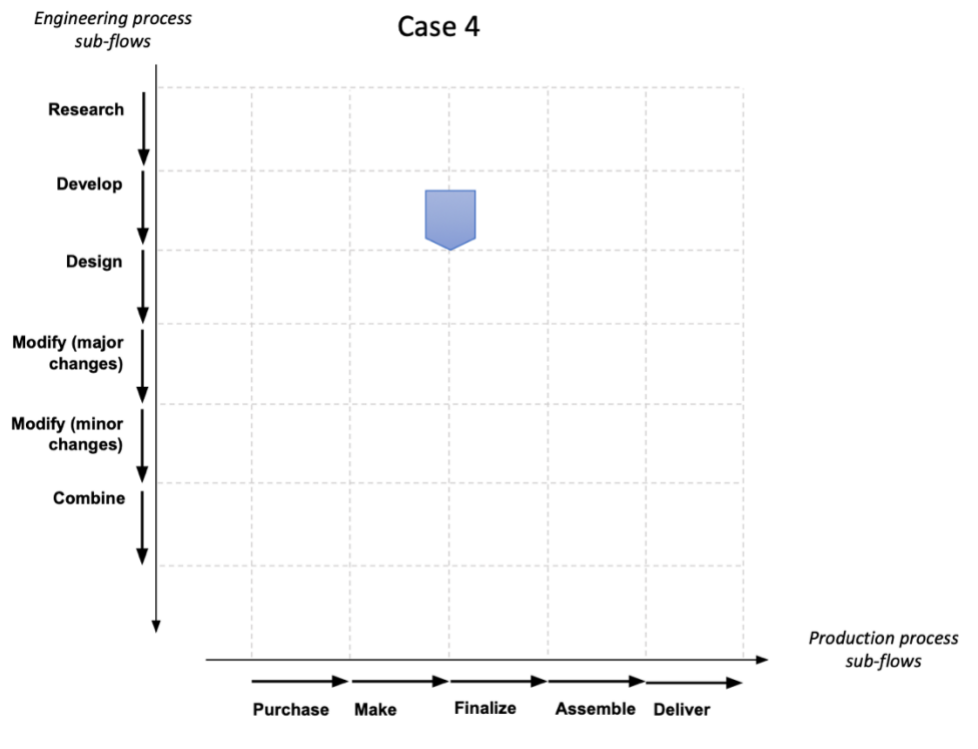


Figure 14. Positioning in the 2D-CODP framework of company 4

Lean assessment

Company 4 has not embarked on a structured path towards Lean manufacturing, although the market challenges and business needs led to introduce practices belonging to this management system.

As far as the *Supplier* bundle is concerned, the implementation level is very limited, and the only practice partially implemented is the *Supplier involvement in design*. Indeed, the know-how required for engineering dosing system is kept internally, hence involving only some low-valuable products' suppliers.

About the *Production planning and control*, company 4 is able to achieve a partial *Smoothed production*. The underlying mechanism is the anticipated production of some components, and thereby the company is able to pre-perform the processing of sheet metal both in laser cutting and in laser tube cutting. Anyway, during the assembly phase, these components require slight changes to fit the machinery ("Finalize to order").

Then, the *Visual management of production control* is implemented, and the referent revealed us the presence of monitors which illustrate the production progress.

Next lean practice implemented is the *Feedback on performance metrics*, although it is not well-structured.

As concerns the *Process technology*, the *Cellular manufacturing* is partially implemented. Indeed, although the job shop for producing components, the final assembly is performed in lines, which so represent a product-oriented layout.

As Figure 14 shows, engineering sub-processes start from the design, and in this field the company encourages the *Concurrent engineering*, even though it is not formalized.

As far as the *Parts standardization/Modularisation* is concerned, company 4 mounts some identical components on more machines in order to obtain the minimum batches that lower production costs.

Visibility and information exchange is then considered by the referent as the real flagship of company 4. There is first and foremost a series of MES terminals directly connected to the CAD, which provide drawings and information to operators. As a result, assemblers can access (or rotate) the 3D virtual model of a component or of the whole machinery, hence improving knowledge and reducing errors' likelihood during the assembly phase. Besides, the concept of visibility inside company 4 is strengthened by the presence of tapes on the ground to delimit the working areas, which render the entire shopfloor top-quality and more safety. By way of conclusion, company 4 has been introducing for many years improvements in compliance with the principles of *Process improvement/Kaizen*, although there are not structured related techniques.

About *Workforce*, the interview also revealed how the role of collaborators, who are in closer contact with products, was fundamental for the company growth.

Workers are partitioned according to the textile and non-textile division, and this separation strongly limits the *Multi-functionality and cross-training*. However, workloads unbalances lead company 4 to temporarily transfer some operators between the two divisions.

Thereafter, *Workforce recognition and reward* is limited to some company goals.

Simultaneously, operators actively participate and contribute to the product design, especially when non-conformities or possible improvements are revealed. Thereby, workforce involvement in problem-solving activities is high, increasing in turn the level of *Continuous improvement*.

Operators also contribute to the cleanliness of the plant, although a formal 5s practice is not implemented. To conclude the workforce scenario, operators perform *Standardized work* activities.

As concerns the *customer*, there are two main moments of contact with the company: during the design phase, in which the client provides data on the performance it wants to have from the machine, and the after-sales service, through which the company provide maintenance contracts, especially abroad. In any case, the machines are networked and therefore it is possible to provide remote monitoring.

Altogether, company 4 has applied some lean principles in an unconscious attempt to pursue a performance enhancement. Indeed, many techniques and methodologies have been applied as they were considered the most efficient or effective solution to incumbent problems.

Case study 5

Introduction

Company 5 was founded in 1968 near Munich, and in 1977 the Colorno (PR) plant was built. Over time, the organization has expanded around the world and today lists numerous offices (thirteen of which are production sites), which together report almost 5,000 employees and a turnover of more than 760 million €. On the other hand, the only Italian branch (headquartered in Colorno) counts around 367 people and registers an annual turnover of 82 million €.

At the beginning of its storyline, the company realized only components for lifts, and only at a later time the production was extended to complete lifts. About the 45% of requests are about standard lifts, while the 50% requires not too invasive customizations. Indeed, these changes usually concern small details as door edges, and the majority of the internal mechanism remains indeed identical. A business which is recently gaining ground is the modernization of existing lifts. Especially in Italy, where such elevators existed since the 19th century, this new “market” represents a consistent business opportunity. Modernization may seem an easy job, but it is worth recalling that elevator mechanisms have their own unique characteristics and new technologies do not always fit smoothly.

The real flagship of company 5 is represented by fully ad hoc products. Unlike standard ones or those with limited customizations, which are served from the various branches around the globe, fully customized solutions’ requests are directly conveyed at the Colorno headquarters. Specifically, these are projects made completely from scratch and based on customer needs and expectations. Either way, the Italian branch also satisfies many other European and Middle Eastern requests.

Regarding production, no advance production is carried out for any type of product. By combining this statement with the afore-mentioned percentages about the customized and not-customized solutions, company 5 can be placed in the 2D-CODP matrix as shown in the following figure.

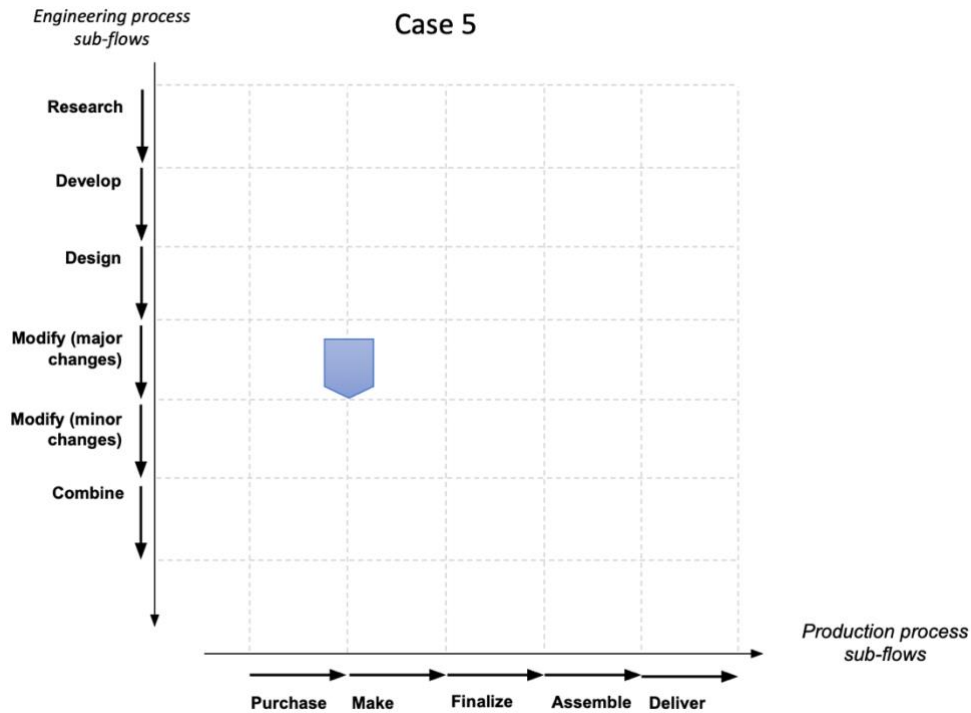


Figure 15. Positioning in the 2D-CODP framework of company 5

Lean assessment

About 15 years ago, company 5 began a Lean development path with the support of a consulting society. Indeed, the numerous offices located around the world (serving more than 50 countries) needed boosting production efficiency to meet challenges that market was presenting. The result was the establishment of three figures dedicated to the lean-oriented process engineering: a time methodist, an expert in the molding and bending process, and an employee who has transversal knowledge about the entire process.

Before the presentation of single practices, it's worthwhile presenting an insight about the Lean culture spread within company 5, which takes place through two main tools: kaizen week and QRQC. The first one basically consists in a workshop week in which figures coming from various functions participate. A kaizen weeks focuses on a specific problem and tries to approach it at 360°, in order to get out from it with solutions already implemented. The QRQC (Quick Response Quick Control), on the other hand, is a method for structurally defining a process change, and in company 5 this methodology is divided in two levels. There is the "line" QRQC, that includes daily department-level meetings in which all functions participate and where only few small problems are addressed: the aim is to close them within twenty-four hours. The "plant" QRQC is similar to the previous one but concerns the participation of the front lines of the whole plant. In view of all this, kaizen week and QRQC represent the two Lean philosophy pillars of company 5.

Starting the analysis with the *Supply* bundle, the company has a structured *Feedback to suppliers'* system, through which notify them about different performances.

The firm also adopts various material management policies, and in particular smaller components are delivered by suppliers with kanban boxes, thus enabling a *JIT* delivery by suppliers.

Shifting the focus on *Production planning and control*, and especially on the *Pull production/Takt time calculation*, the takt time is currently used only for standard products. Accordingly, due to the high customization level, company 5 is discussing the introduction of a standard takt time with a subsequent division of products into families presenting similar or equal takt times. By doing so, even standard products with customizations will be produced at the takt time pace.

Also the *Smoothed production* practice is implemented, as the heijunka box is used in some assembly lines. Simultaneously, company 5 relies on several tools for the *Visual management of production control*. First and foremost there are the so-called totems, meaning boards that show the current state of the plant in terms of flows, volumes produced, and lean techniques adopted, by also presenting images depicting the before-scenario and after one. In addition, the company is also introducing some Andon boards for real-time monitoring of single lines.

Feedback on performance metrics is structured, with the QRQC boards playing a pivotal role. More accurately, these are tables in front of which the QRQC is performed, as they provide indicators about the different departments. In addition, in the bending and punching department, an efficiency analysis is carried out, whose result is not too far from the OEE.

The *Root cause analysis for problem solving* is also implicitly performed via QRQC, which indeed leads to the identification of treatment and/or hedging actions for problems.

Finally, from a *TQM* perspective, a systematic approach is not implemented.

As regards the *Process technology* bundle, the *Visual management of production control* takes place. A very interesting approach concerns a set of visual instructions for operators, i.e. photos that say "ok" / "not ok" and which were introduced as a result of complaints and internal non-conformities.

The concept of *Continuous flow* is then applied to a limited extent in some assembly lines.

Overall, production is divided into a few internal processing departments and several assembly lines, thus resulting in a partial adoption of a product-oriented layout (*Cellular manufacturing*).

Besides, *Concurrent engineering* is carried systematically, hence involving various business functions.

Regarding the *Parts standardization/Modularisation*, it is absent for totally ad hoc products. Conversely, different product families share few components, resulting so in a low standardization degree. However, several studies are underway to standardize components of different products, such as the steel ropes on which the weights holding the door open are mounted.

Visibility and information exchange level at the production department is good, but no specific techniques have been reported to us.

Next, about the *Process improvement/Kaizen*, the kaizen week and the QRQC have been already explained. To conclude, as concerns the *Value identification*, the value stream mapping (VSM) represented the starting point of the consulting company 15 years ago, but it still used to introduce structured changes to processes.

Shifting the focus to the *Workforce*, the *Teamworking and leadership* level is very good.

Additionally, as concerns the *Workforce recognition and reward*, an award is given to the team of the production line that registered the greatest productivity increase during the year. Besides, also people completing the analysis required by the QRQC in a single day are awarded.

With a view to *Continuous improvement*, some operators are involved in the kaizen weeks and in the QRQC. Consequently, they can provide more precise information about production activities, and they also have the opportunity to propose ideas for solving problems.

Operators also benefit from workstations that are always tidy and equipped with only the necessary tools, making so the *Workplace housekeeping* level very high.

Standardized work is also implemented, and for instance time-related reference values (e.g. takt time and total cycle time) are kept updated by the time-methodist.

Finally, the relationship with the *Customer* depends on the importance extent of the client itself. Accordingly, for multinationals there are key reference accounts, while for smaller customers the communications are directly managed by the marketing, which request them feedback on the goodness of work, just like it contacts clients periodically to find out new opportunities.

Overall, the implementation level of company 5 is high. Additionally, the contact person told us how company 5 is satisfied with the lean techniques implemented, as well as how the current biggest effort targets the introduction of a better performance monitoring.

Case study 6

Introduction

The Austrian born company 6 produces and markets machine tools for chip removal. It has three production sites in Italy, namely in Pordenone, Alessandria and San Giorgio su Legnano (MI). The latter, from which our contact comes, is capable to invoice about 17 million € per year and has about 59 employees. The commercial network is managed globally by the Austrian headquarters, while the domestic market is administered locally by the three offices mentioned above. About 200 machines are produced yearly in Italy, while more than 1000 are sold worldwide by the entire group.

On average, the 50% of orders go through the technical design office for the introduction of marginal changes to those products that the company normally produces from the catalog. Furthermore, company 6 does not own an internal department to fabricate the components it needs, and consequently all codes of the bill of materials constitute a purchase order. However, a standardization approach enables a Finalize to order production system, and in light of all these considerations company 5 can be positioned in the 2D-CODP framework in the following way.

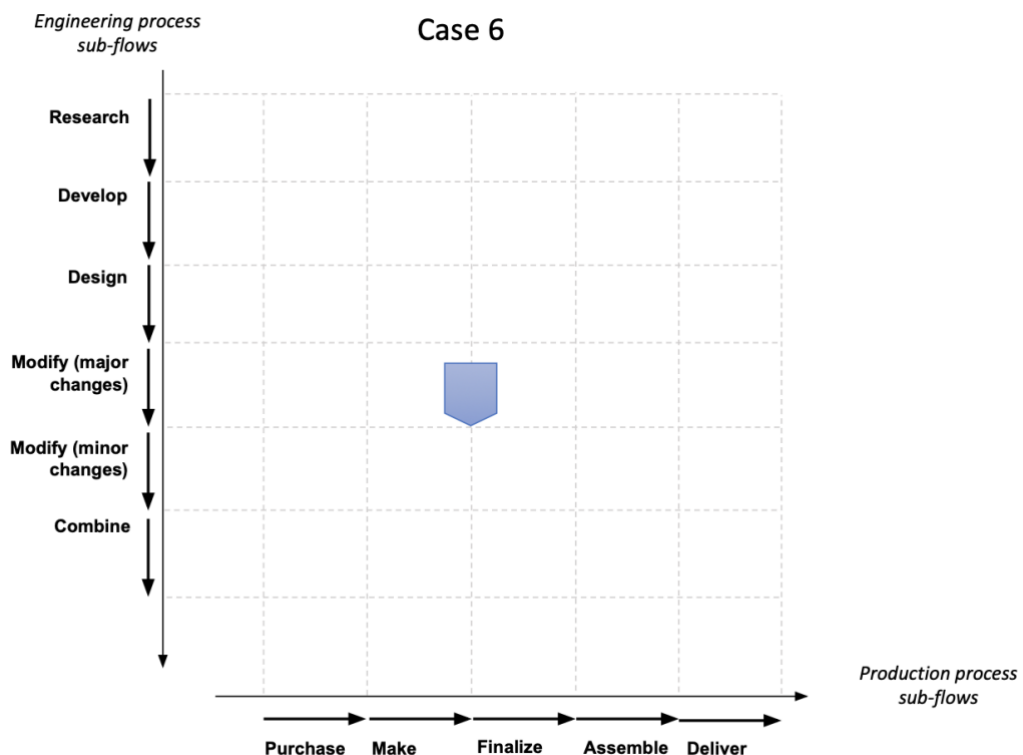


Figure 16. Positioning in the 2D-CODP framework of company 6

Lean assessment

As a whole, company 6 does not seem to follow a structured plan for Lean manufacturing implementation. Anyway, the logic followed to introduce the different techniques concerns a mini project followed by a consultant, with a subsequent period of 6/9 months which was given to operators to become familiar with the practice freshly introduced. Consequently, at the end of the 6/9 months foreseen, it was possible to start another pilot project in a new area or for a different technique, always with the supervision of the consultant and with the following 6/9 months for the autonomous implementation.

Starting the analysis of lean techniques with the *Supply* bundle, suppliers are informed about their performances with a feedback system, albeit not structured (*Feedback to suppliers*).

JIT delivery by suppliers is then partially implemented, as small parts warehousing relies on kanban boxes directly managed by suppliers. Moreover, suppliers are partially involved in the warehouse management, just as a vendor managed inventory (VMI).

Focusing on *Production planning and control*, and more accurately on the *Pull production/Takt time calculation*, the contact person told us how in Pordenone, until recently, there were assembly lines with tracks on which machines moved and which presented an assigned time for each phase. Over time, machines have become larger, more complicated and with a longer assembly time, forcing company 6 to adopt a “fixed position” configuration. Therefore, the firm purchases nowadays all the necessary components and the assembly, almost entirely driven by the order, does not follow a takt time pace.

Still considering the assembly phase, the *Smoothed production* is partially achieved through non-typical lean tools, such as the pre-assembly of some components or entire quite-standard machines.

Feedback on performance metrics is also implemented. For instance, regarding each single machine, a final review is carried out for each phase and for the whole order, both in terms of materials' cost, design hours, assembly hours and installation times. Accordingly, to evaluate the production efficiency, the expected cycle time of an order is compared to the one recorded.

Problem management does not include any structured form of *Root cause analysis for problem solving*, although there are some quality meetings targeting the implementation of corrective actions.

As concerns the *Process technology*, the shopfloor configuration is not product-oriented as the assembly is performed in fixed positions. Therefore, *Cellular manufacturing* is not implemented.

On the other hand, an excellent communication takes place among various company functions, and the use of *Concurrent engineering* is a proxy of the high information fluidity. Specifically, concurrent engineering is performed in the design phase of a new machinery or for updates, as well as for customizations.

The design phase also involves the *Parts standardization/Modularisation*. Therefore, in the new product development or for updates, a standardization of sub-components is carried out in order to achieve higher minimum purchase lots, to reduce the overall product costs and to obviously avoid variability proliferation in terms of spare parts and possible differentiations.

Moreover, operators also enjoy an excellent *Visibility and information exchange* level. Product team leaders, for instance, make use of a tablet to access drawings, instructions or any photograph of similar machines.

With a view to *Process improvement/Kaizen*, various techniques are used. First, there is a “product review” every year or two, which is carried out with the purchasing department and partially with the technical one. Simultaneously, company 6 has introduced a system for collecting feedback on problems encountered by customers or during the machine testing. As a consequence, monthly meetings are organized to discuss some product changes right according to feedbacks obtained.

The *Value identification* was applied only three years ago in two out of the three companies through an external consultancy society, and the tool used was the value stream mapping (VSM).

As concerns the *Workforce* side, lean techniques within company 6 are periodically introduced following the cycle explained before, thus relying on *Teamwork and leadership*.

The workforce is also subject to a *Multi-functionality and cross-training* policy: there are two main departments (mechanical assembly and electronic assembly) and, within each of them, all operators must know how to carry out all possible tasks.

The *Workforce recognition and reward* leverages on the achievement of company targets. Therefore, any recognition system for individual operators or work teams does not take place.

On the other hand, the involvement of operators in problem solving activities is remarkable. An example of this *Continuous improvement* approach is linked to the willing to have the same people from the beginning to the end of the assembly for each machine. This policy gives continuity to operations and avoids issues related to the identification of a contingent problem if the release test is not positive.

Besides, workstations are always tidy and provided with only the necessary equipment (*Workplace housekeeping*). This is the result of the 5s practice, which surprisingly proved to be the most difficult technique to be introduced, as it needed to be well internalized by each single employee.

Then, *Standardized work* is performed and constantly updated. For instance, the technical office prepares a “machine manual” including the “check” of the various phases that must be signed by the operators. Concurrently, an external consultant creates a manual in which the assembly instructions are physically shown with photographs and descriptions.

Finally, concerning the relationship with the *Customer*, a company function called project management has been set up for the most important machines. Conversely, communications with clients purchasing simpler

machinery are managed by the sales office. Either way, there is a system for collecting feedback on problems encountered by all customers.

Company 6 feels quite satisfied with the lean techniques implemented. The management thought it was easier to integrate certain activities, so that the company would then take charge of it autonomously. Accordingly, the referent told us how an input, either internal or coming from the outside, is always necessary to continue in the direction undertaken.

Case study 7

Introduction

Company 7 was established in 1934 in the province of Padova, when a local entrepreneur founded a precision machining workshop. During the 1960s, alongside the plastic market growth, the founder's son decided to expand the company right in this sector. More accurately, in 1964 the first granulator was built, which was shortly followed by dryers, feeders for the injectors and coolers. Subsequently, the group started producing entire systems for industrial automation from the 1970s, and gradually expanded by affinity to other sectors as well. Among these markets, food segment stands out, and in particular the powders and liquids management.

Thereby, company 7 currently supplies plants that pick up raw materials stored in silos, mix them in case of a blending (e.g. a recipe of several polymers or foods), bring them to the ideal conditions for being processed and finally transport such materials to the mouth of the primary machine.

Today the group is still administered by the third generation of the family, and counts 9 production plants: five in Italy, one in Germany, one in the US, one in China and one in Brazil. Accordingly, the group constitutes a global brand with 33 companies worldwide and registered an overall turnover of 22 million € in 2020, whose 64% invoiced in Europe and the Middle East, 19% in North America, 13% in Asia and 5% in South America.

Concerning the interview, we contacted the parent company operating in the plastic sector, which provides jobs for 397 workers and invoices about 96,500€ (2020). The most profitable sector is the plastic one, with the 78% of total revenues, while the non-plastic and food markets merely constitute the 9%. Another very profitable area concerns the assistance service, which generates the remaining 13% of the 2020 proceeds.

The systems' realization always starts from the technical office and more than 50% of orders must pass through the engineering department for making changes demanded by customers. Obviously, not all projects require the same number of hours in the design phase, thus ranging from few hours to several months.

A system typically consists of a set of modular accessories that can be combined in different configurations, and the company is able to make predictions about such modules or long-delivery components. Therefore, Figure 17 exhibits the proper positioning of company 7 in the 2D-CODP matrix.

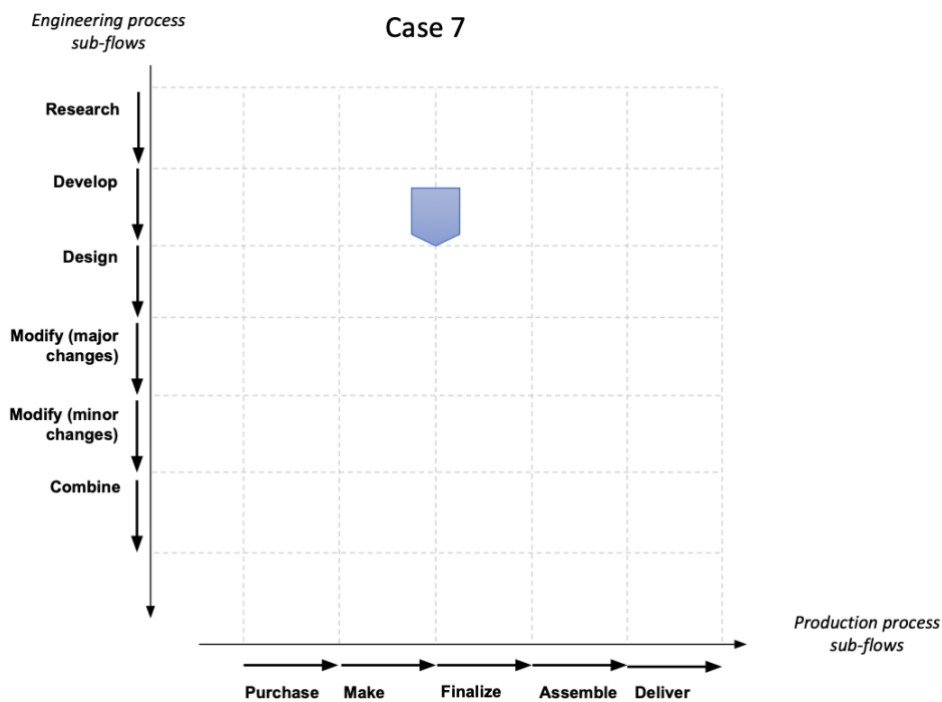


Figure 17. Positioning in the 2D-CODP framework of company 7

Lean assessment

The first step towards the Lean production system took place during the 1980s, when the Toyota model began spreading in Europe and the founder's son organized a guided tour in Japan right to learn this new production philosophy. Upon returning to Italy, he introduced Lean philosophy within the company, although in this first phase just a paper-based kanban system with suppliers was implemented. Lean as a structured approach was definitely born in 2007, when the current executive chairman decided to embark on this path with the aim of reducing space and increasing production efficiency due to the significant market growth. Accordingly, a consultancy company providing basic notions was hired, and later the figure of a Lean manager

was established to carry on the Lean development path. From that time, three figures have followed one another in this position, and we had the pleasure to interview the last of these officers (Kaizen & Quality manager), who also extended Lean to other company functions. Indeed, principles of Lean logistics were started to be applied in 2016, while the first steps towards Lean office have been taken since 2017. To conclude this introduction, company 7 revealed the most structured, widespread and capillary application of lean principles among all case studies performed. As a result, the number of (codified or not codified) lean techniques is truly remarkable.

About the *Supplier* bundle, the company first of all implements the *Feedback to suppliers* practice, even though it is not structured.

In terms of *JIT delivery by suppliers*, when the warehouse needs material, the turnaround is managed through an "external kanban" system. Concurrently, a "milk run" service is active for all geographically closest suppliers, meaning that a shuttle collects materials on a daily basis.

Company 7 is also the sole case study with a *Supplier involvement in design* for new products or customized parts. As such, designers co-engineer with the "core" suppliers in order to gain benefits for the technical solutions, as well as for the upcoming product industrialization.

Turning to *Production planning and control*, fabrication of components is divided in two departments of semi-finished products, namely a carpentry and a section of machine tools. The assembly lines, downstream, "make the vacuum" and request is forwarded to the semi-finished products departments, to other assembly lines or to suppliers. Lines create a mix of products (mix model), and while the takt time pace is hardly applied in the operational phase, it plays a pivotal role in the design phase of such lines (and above all for those with high standardization and high quantities). Still in production, and as regards the *Pull production/Takt time calculation*, the company leverages an "internal" kanban system with about 4500 codes (constantly evolving number) to be managed, and there is also the figure of the water spider which supplies the kanban boxes by performing about four rounds per day.

The *Smoothed production* does not take place through the typical heijunka box, but through the use of buffers managed with the kanban system.

In recent years the company has invested in *Setup reduction*, although this practice does not follow a structured approach.

A form of Total Productive Maintenance is also implemented: operators have a maintenance plan, which is optionally increased starting from the one recommended by the manufacturer.

Besides, production is managed via different visual tools (*Visual management of production control*).

Feedback on performance metrics is also collected, and this gathering system turns out to be structured and provided with lots of different parameters that enable a holistic view of company performances.

In addition, in terms of *Total Quality Management*, the company has equipped itself with various poka-yoke applications.

Then, a bidirectional MES system was recently implemented. It provides the operator with all the necessary information and, vice versa, workers communicate the activities carried out and problems encountered. Consequently, this MES system allows to gather not only statistical data for times and methods, but also the “muda” about which corrective actions are subsequently developed.

Contextually, the *Root cause analysis for problem solving* and subsequential corrective actions are managed in a structured way, also through periodic meetings in the various production departments.

As concerns the *Process technology*, the *Visual management of quality control* is regularly adopted.

Then, the *Autonomation* concept is partially introduced, and for instance two manual setup press brakes have recently been replaced by one with an automatic setup.

As explained before, fabrication of components articulates in two departments of semi-finished products, namely a carpentry and a section of machine tools, which are then complemented by fourteen assembly lines and two fixed positions: one for the high-customized solutions and the other one for prototypes. Therefore, the workshop layout is not totally product-oriented, thus resulting in a partial implementation of the *Cellular manufacturing* practice.

Company 7 is involved in the new products development and in the customizations’ design, but *Concurrent engineering* takes place only in the second case. Truly remarkable is the lead time reduction activity carried out at the beginning of this process: the customer request is analyzed and components that are standardized or modularised are anticipated. Company 7 calls this phase “advances management”, and therefore the engineering does not perform anything other than the identification of such components.

Related to this, *Parts standardization/Modularisation* is subject of in-depth studies. And the combination between this emphasis and the high standardization level achieved among products lead us to define this practice wholly adopted.

Further, the *Visibility and information exchange* are top-notch. There are some tools bringing information closer to operators such as IT supports, planners, MES systems, support systems with on-board documentation and more.

In terms of *Process improvement/Kaizen*, company 7 regularly conducts concerning activities and the presence of the Kaizen & Quality manager certifies how this concept is deep-rooted within the company.

Finally, the *Value identification* is regularly performed with different tools: VSM, swimlane chart, spaghetti chart and others.

Also from a *Workforce* perspective company 7 implements various lean practices. For a start, there is a mapping of skills that favors and supports a job rotation policy. Indeed, every week a meeting is organized

between the various department coordinators, as well as the redistribution planning of production resources among lines according to needs. The main criticality is of course variability, which in turn implies a variability of skills: *Multi-functionality and cross-training* are therefore a fundamental weapon.

Company 7 has a second level agreement with its RSUs (in Italian "Rappresentanza Sindacale Unitaria") and there is a production reward based on some management control parameters. Plus, there are MBOs (Management By Objectives) where the HR department deems it necessary.

Altogether, operators are constantly involved in the feedback gathering process, and these reports are collected right by our interviewee or by the line directors who then report to him. It follows that workforce is involved in problem-solving activities (*Continuous improvement*).

About the *Workplace housekeeping*, the 5s technique is implemented.

Besides, *Standardized work* level is high and such references are constantly updated.

The strong relationship with the *Customer* is typical of an ETO environment, and the management of non-conformities also takes place. A system for collecting problems/reports has been introduced, although they are not necessarily related to non-compliances. In addition, these reports can have different magnitudes, and could also be related to a training lack of clients' personnel. And in these cases, upon request, company 7 carries out training for customer's technicians.

By way of conclusion, the Kaizen & Quality manager is "extremely" satisfied with the Lean path taken by the company, even in light of the number of practices registered (26 out of 29).

Case study 8

Introduction

Company 8 is headquartered in the municipality of Val Brembilla (BG) and belongs to a group set up in 1906. Over the decades, the group has developed a very extensive and widespread commercial network, so as to separate some business activities in autonomous organizations. By implication, in 1975 a company was founded with the aim of producing and marketing pulleys and transmission components, while the 2001 saw the establishment of a corporation producing rubber and polyurethane belts. Finally, the 2004 saw the foundation of company 8, which still designs and builds industrial manipulators, zero-gravity systems and AGVs (Automated Guided Vehicles).

Company 8 described its product range to us, by mainly distinguishing between modular products and special custom ones. However, all manipulators are designed internally, while components are either made in owned machinery department or purchased from external suppliers. Even for electronic boards the know-how is kept in-house, although their realization is outsourced. Indeed, manipulators always need an interface with the human operator as they are not robots equipped with a PLC.

In 2020, the company registered a turnover of more than 24 million € and currently employs 156 workers. Customers range from large multinationals, including some car manufacturers, to artisan companies, and also the application sectors broadly differ by including automotive, mechanics, food and more. Such a diversity affects product features, as well as some certifications (such as the ATEX one) represent an additional constraint.

During the interview, the company representative concisely described the entire production process, which always begins with the product design according to client needs. Subsequently, upon the customer approval, everything is sent first to the mechanical assembly and then to the pneumatic and electrical wiring. Most of the requests fall under a given standard, and therefore there is a range of modular products that can be anticipated. For them, it is even possible to make annual budget forecasts and anticipate the purchase of some components or semi-assembled. Conversely, machines requiring special features have a dedicated department with 20 assembly fixed positions. Thereby, the proper placement of company 8 in the 2D-CODP framework is shown below.

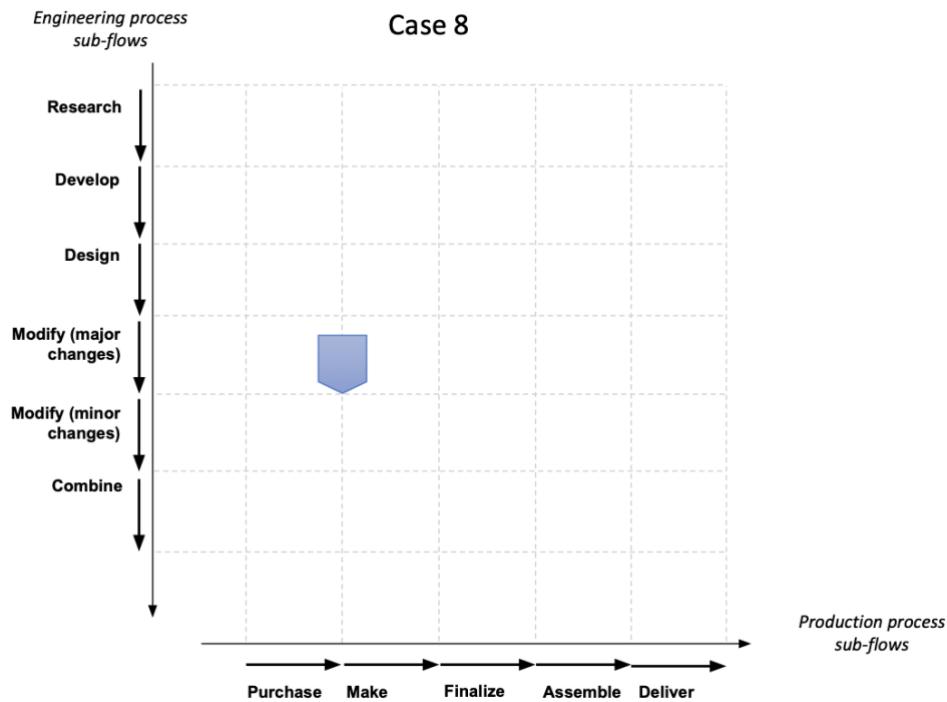


Figure 18. Positioning in the 2D-CODP framework of company 8

Lean assessment

Company 8 produces and sells components for a modular system, which is essential to operate in a Lean manufacturing logic. It is composed of tubular profiles, joints and accessories for the construction of dynamic roller conveyors, workstations, trolleys etc. Nevertheless, the organization does not report a structured approach to Lean manufacturing, resulting in a limited number of techniques implemented.

In fact, no lean practices were mentioned about the *Supplier* bundle.

As concerns the *Production planning and control*, there is neither a takt time pace nor kanban systems, although most of the activities are pulled from the order.

Conversely, in terms of *Setup reduction*, the company has invested and is still heavily investing in the internal fabrication departments, even though there is not an underlying systematic plan.

Smoothed production is obtained through non-typical lean techniques. Specifically, the medium-short term scheduling of activities allows to understand the future load of single departments, thus predicting the moment of peaks and consequently acting through the rescheduling, overtime or the support of external resources.

Then, the company currently lacks tools for the *Visual management of production control*, but several studies are underway to fill this gap.

Also for *Feedback on performance metrics*, about which there are already systems aimed at assessing costs and production efficiency, discussions for a structural improvement are underway.

Turning to the *Process technology*, the design of new products or ad hoc customizations involve various company functions, even though a structured *Concurrent engineering* does not take place.

As previously mentioned, company 8 reports a good level of component modularisation, and in particular as regards the structure supporting the end effector, which is customized according to customer needs. Nonetheless, studies are underway for the modularisation of the end effector as well.

The access to some information for operators is also questioned. Company 8 is indeed working to provide workers with the drawing of the piece to be assembled, as well as photos and instructions to perform specific tasks. It follows that today activities revolve around the memory of individual operators: the goal is to make the company know-how more accessible to everyone.

Shifting the attention to the *Workforce* bundle, company 8 classifies orders into 3 difficulty levels, namely A (simpler), B and C (more complex). Consequently, *Multi-functionality and cross-training* are tied to the difficulty range for which a worker is capable.

Rewards for operators depend exclusively on the achievement of company targets, thus resulting in a partial implementation of the practice *Workforce recognition and reward*.

Moreover, workers are involved (both formally and informally) in problem solving meetings, hence in a *Continuous improvement* approach.

The 5s is also introduced for workstations (*Workplace housekeeping*).

Furthermore, *Standardized work* is regularly updated.

To conclude, the *Customer involvement* focuses on two main moments: the installation of the system and the proposed scheduled or preventive maintenance.

The company is satisfied with the lean techniques implemented. Plus, the referent told us how various process improvements are underway, and a good example concerns the development time of machines' manual. Indeed, it was previously produced only a couple of months after the installation of the system, while since some months ago it has been publishing in conjunction with the installation phase.

5.3. Cross-case analysis

5.3.1. Preamble

Once companies were individually presented, a cross-case analysis results complementary. Either way, it's worthwhile drafting a concluding sample overview in terms of dimensions presented in the Introduction.

A first outcome reveals that the eight companies are all headquartered in the Northern Italy, thus disclosing the geographical concentration of this sector. More importantly, we reached the goal to get a heterogenous sample in terms of company size, and this is definitely outlined by the following matrix.

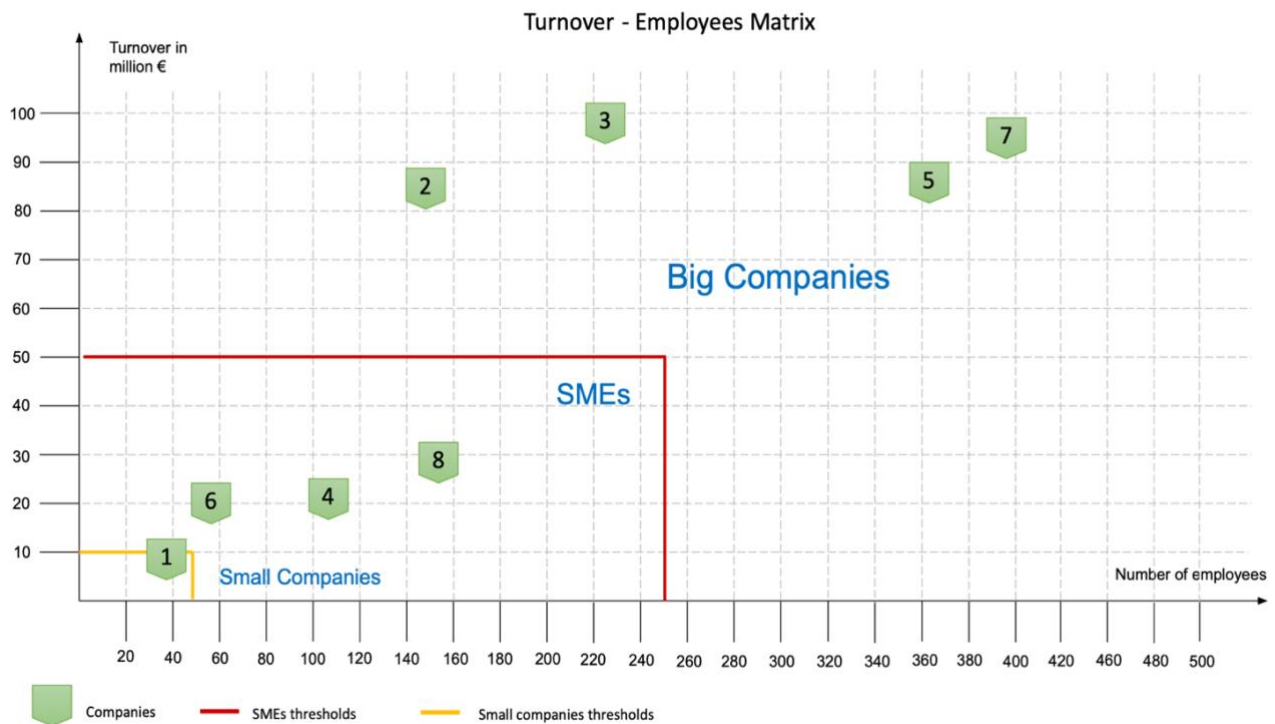


Figure 19. Turnover - Employees matrix

The red line and the yellow line were set accordingly to the European values defining a small-medium enterprise (SME) and a small enterprise. To be precise, thresholds are:

- Red line (SMEs): turnover less or equal than 50 M€ and employees less or equal than 250.
- Yellow line (small enterprise): turnover less or equal than 10 M€ and employees less or equal than 50.

In light of these boundaries, the sample includes 4 large companies and 4 SMEs (among which we can find also a "small company"), thus formalizing the wide variety of the sample in terms of company size.

Turning to the Theoretical basis variable, Table 14 provides a concerning classification of companies.

Theoretical basis	Absence of Theoretical basis
Company 1	Company 2
Company 3	Company 4
Company 5	
Company 6	
Company 7	
Company 8	

Table 14. Classification of companies based on the Theoretical basis attribute

The Structured Lean attribute could look similar to the Theoretical basis one, and thereby a clarification is needed. Indeed, a Structured Lean path does not require only the theoretical knowledge (which represents so a necessary condition), but also the efforts and commitment of management and staff. Accordingly, such companies apply and develop techniques in a conscious way: there is not only a deep knowledge and widespread application of practices, but also a systemic project of continuous development or even a dedicated manager/department for Lean. Vice versa, in the other case studies, no structured paths were detected for the Lean manufacturing implementation, hence limiting the adoption to the simplest techniques and following few principles such as the 5S, kaizen or others. Accordingly, the table below exhibits a classification of companies that grounds on the “Structured Lean” concept just outlined.

Structured Lean	Not structured Lean
Company 1	Company 2
Company 3	Company 4
Company 5	Company 6
Company 7	Company 8

Table 15. Classification of companies based on the Structured Lean attribute

Anyway, it is worth recalling that all companies analysed have applied lean techniques, even those falling under the category of companies "with unstructured Lean". Indeed, quite often these companies apply principles strongly linked to the Lean philosophy without having full awareness of this orientation.

Beside the three reference attributes considered, it's worthwhile deepening also the 2D-CODP framework. Each positioning was already presented in the single case analysis, and it's newsworthy to put all results together (as stated before, the justification of each single positioning is in the Annex).

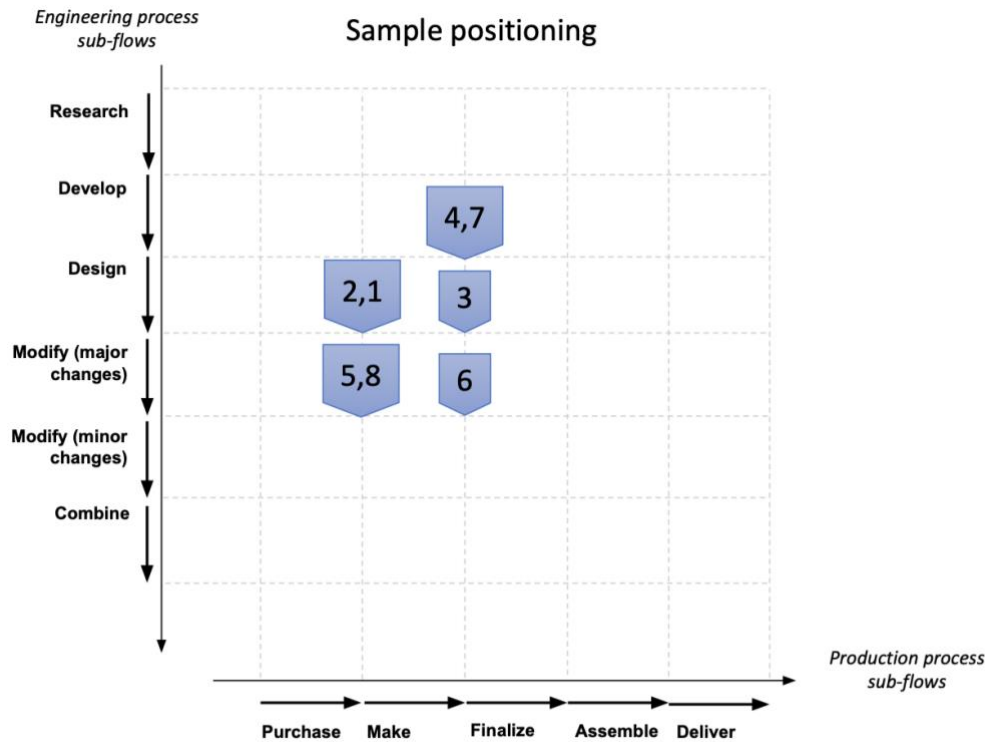


Figure 20. Research sample positioning in the 2D-CODP framework

Five different engineering-production models emerge from the research sample, and the same one can be successfully adopted in different sectors. Companies 1 and 2 are just an example, as the former produces robotic arms for painting, while the latter manufactures entire systems for chipboard panels. Therefore, despite the great diversity between products in terms of size and technological content, both companies operate Major changes at the customer request and perform production in a Make to order mode.

Once obtained a conclusive sample overview, we will now cross the results of individual case studies, thus providing an answer to the three Research Questions. For convenience, we report them:

- RQ1: (a) *What are the lean practices applied in ETO companies?* (b) *How are these practices applied?*
- RQ2: *What are the main challenges ETO companies encounter in implementing lean practices?*
- RQ3: *How do these practices support variability reduction and variability management?*

A careful analysis will be carried out for each individual question, and concurrently an attempt to provide new considerations and innovative ideas to the topic of Lean in ETO companies will be made.

5.3.2. RQ1 - Practices and adaptations

RQ1a: What are the lean practices applied in ETO companies?

RQ1 was divided into RQ1a and RQ1b. Such split allows focusing more on single themes, namely lean practices and the adaptations/extensions they have to undergo.

The analysis concerning RQ1a articulates in three main sections. The first (Primary analysis) will provide an overall result of the implementations, which will be complemented by a quantitative analysis in the second section (Quantitative analysis). Finally, the third section (Correlation analysis) will investigate a possible correlation between selected variables and lean practices.

Primary analysis

By merging results of single case studies (Section 5.2), Table 16 is outlined. In depth, it presents the 29 lean practices as rows, while each company (shortened to C.) constitutes a column. Additionally, Table 16 leverages the “adoption degree” concept, i.e. the extent to which a single practice is applied, whose specific colour code is here proposed:

- Green: if the technique is fully implemented
- Yellow: if the technique is partially implemented
- Red: if the technique is not implemented
- Blue: if the technique is subject to future developments. However, the colour name will be inserted to identify the current situation.

More details about the colour code for each technique is provided in the Annex, as single practices have peculiar features and so require a closer explanation (for instance, some companies pursue some lean principles without implementing typical lean techniques).

Turning to the description of Table 16, the format will be the same used for the single case analysis, meaning that the speech is divided according to lean bundles and their practices: each paragraph refers to a single bundle and a newline is added for each practice.

Lean Bundle	Lean Production Practice	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
Supplier	Feedback to suppliers	Red							
	JIT delivery by suppliers								
	Supplier involvement in design								
	Lean supplier development								
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation	Red				Yellow			
	Setup reduction								Yellow
	Smoothed (levelled) production (heijunka)								
	Total Productive Maintenance								
	Visual management of production control								Red
	Feedback on performance metrics				Yellow				Yellow
	Total Quality Management				Red				
	Statistical process control								
	Root cause analysis for problem solving								
Process technology	Visual management of quality control	Red							
	Autonomation (Jidoka)								
	Continuous flow (one-piece-flow)								
	Cellular manufacturing, Layout size and shape								
	Concurrent engineering								
	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	Yellow		Yellow		Yellow			Yellow
	Visibility and information exchange			Yellow					Yellow
	Process improvement/ Kaizen								
	Value identification								
Workforce	Teamwork and leadership								
	Multi-functionality and cross-training			Yellow					
	Workforce recognition and reward								
	Continuous improvement								
	Workplace housekeeping								
	Standardized work								
Customer	Customer involvement								

Table 16. Reference table for RQ1 analysis

The first set of lean techniques is the *Supplier* bundle, and, as a whole, case studies reported a relative low application level. For a start, *Feedback to suppliers* is rare within the sample. Although all companies have data to document their suppliers' performances, suppliers are unlikely to become recipients of a structured reporting with regular updates. Indeed, only company 5 generates structured reports which are then updated in monthly meetings. Conversely, other companies rely on unstructured feedback systems, like companies 3, 6 and 7, while others still do not implement the practice at all [companies 1, 2, 4 and 8]. A final remark concerns company 1, which has not a feedback system to suppliers, but it is taking the first steps in this direction.

About the *JIT delivery by suppliers*, five companies in the sample adopt this practice, and the implementation is basically limited to the management of small parts. More specifically, in the case of companies 2 and 3, a kanban system has been developed for low value components, while company 5 applies JIT even for slightly more important and bulky parts. On the contrary, other companies have explicitly reported the lack of a JIT delivery system by suppliers: for company 4 it is structurally impossible, while company 8, after attempting a JIT policy, was forced to retrace its steps. An interesting insight concerns company 6, which uses kanban boxes for low-value components and simultaneously involves suppliers in warehouse management activities (like a vendor managed inventory), as well as shares information and forecasts along the supply chain. In this way, it is possible to reduce the WIP quantity and to avoid problems along the value chain, including the famous "bullwip effect". Company 7 also implements a daily JIT supply model for local suppliers (which are located in the Veneto region), and this is why the cell colour is green. In depth, the weekly requirement is sent to these suppliers, and every day a "milk run" is performed.

Moving to the *Supplier involvement in design*, this practice is uncommon in the companies of the sample. Company 2 involves suppliers only for low-value components, as it decided to keep its engineering know-how internally. By contrast, company 7 involves "core suppliers" in the design phase, thus efficiently developing the product and optimizing the subsequent industrialization process. Probably, the lack of the supplier involvement lies in the willing of companies to keep the know-how internally for the engineering phase, which represents a source of competitive advantage (especially in the ETO sector).

Finally, none of the companies in the sample supports the *Lean supplier development*.

As regards the *Production planning and control*, there is a clean increase of techniques used.

About *Pull Production/Takt time calculation*, many companies have developed related practices. Either way, before tackling the practice, a small clarification is necessary. It was indeed decided to insert the red colour for companies that do not apply any form of takt time and do not have kanban cards. Instead, the yellow was used for companies that only partially exploit kanban cards and/or takt time. Finally, the green would have been inserted for a regular use of both kanban and takt time, but as expected no companies fall under this label (the same information is shown in the colour code included in the Annex). Returning to the cross-case analysis, the sample includes four companies presenting the yellow colour, namely the numbers 2, 3, 5 and

7. Company 5 is also making developments, and in the same way company 1, although the latter is red (neither kanban nor takt time implemented). Overall, recalling the literature, even though the demand drives production, the calculation of the takt time is more challenging. Since production is often a "project" tailored to the customer, it is not easy to establish the time required for its realization: defining how the company's "heartbeat" should be is very difficult, as it is especially stated by the company 3. Indeed, its referent told us that *"the company today does not pulsate perfectly to the rhythm of takt time: the line is getting closer, but it is not a defined rule. We would like to go back to pursue a little this direction, perhaps taking some of the operations out of the line in order to have inside the line the same times for all machines. In other words, we are looking for some solutions to recatch those concepts again"*. Meaning that, as long as products for company 3 were standard, the production throughput time was about two days, while now the great variability has made such precision impossible. Accordingly, company 5 currently uses takt time only for standard products, but the novelty is the discussion about a "standard takt time", whose introduction will lead to cluster products into families with similar or equal takt times. In short, therefore, the takt time calculation in companies using mixed model lines is very tough, but specific adaptations can partly enable this. As stated before, the practice Pull production/Takt Time calculation also involves the internal use of kanban boxes, which was registered for companies 2 and 7.

Then, the *Setup reduction* does not seem to be a priority for the companies in our sample. This practice can be applied exclusively in certain fabrication departments, and as their workload is often low it results unnecessary. Only company 7 and company 8 carry out some set up time reduction activities, and this is due to the fact that, unlike many others, they keep a large part of production inside, thus owning a very consistent machinery department. Indeed, for companies performing only the assembly phase, such as companies 1,3 and 6, a setup reduction appears superfluous, and this justifies the different colour compared to the other cells.

The *Smoothed production* represents instead an extremely prominent target, and this is justified by seven out of eight companies implementing related techniques. Many companies do not typically use lean practices, and therefore they only try to partially anticipate the production of components or sub-groups, such as companies 1, 4 and 6, or to create a buffer as in the case of companies 1 (which wants to put an anthropomorphic ready for delivery per month) and 7. Conversely, other companies apply the typical heijunka box, as case studies 3 and 5. Finally, company 8 uses a scheduler for short-to-medium term planning, hence predicting potential peaks and levelling the workload accordingly. Only company 2 does not implement any smoothing practice, and this is due to enormous dimensions of the plants sold, which can even take years of bargaining.

About *Total Productive Maintenance*, only company 7 relies on scheduled and preventive maintenance programs for some machines, thus making the practice poorly adopted.

Besides, *Visual management of production control* appears to be more successful in ETO contexts, with four companies implementing visual control systems. For instance, company 1 has introduced a digital Andon to monitor the progress of single assembly fixed positions, and companies 4, 5 and 7 use a structured visual management system too. Broadly, the successful implementation of visual tools in ETO context probably depends on the repetitiveness-free context required by such practice.

Turning to *Feedback on performance metrics*, all companies rely on metrics to evaluate performances. Nevertheless, some of them do not present a structured indicators' system, limiting the assessment to some few parameters, such as companies 4 and 8. Either way, the latter has a related development project underway.

Regarding the *Total Quality Management*, the number of case studies is very limited. Only company 7 has developed a poka-yoke support for the assembly phase, while companies 3 and 5 apply the TQM in an unstructured way.

Company 7 is also the only one to implement the *Statistical Process Control*. This does not mean that other companies do not monitor their processes, but the production numbers are too small to justify a statistical approach, as especially reported by the referents of companies 3 and 6.

To conclude the bundle, the *Root cause analysis for problem solving* lists four companies in the box score, and techniques are for instance the fishbone diagrams or the 5Why. Specifically, companies 2 and 6 apply tools in an unstructured way, while companies 5 and 7 search for root causes in a more systematic manner. An insight is well-deserved by company 5: it periodically uses the QRQC technique, which is exploited with the kaizen week for pursuing a structured continuous improvement approach.

As far as the *Process technology* bundle is concerned, the *Visual management of quality control* is adopted by only two companies. Especially, new technologies brilliantly support companies as in the case study 5, in which "totems" for quality was created right with the help of the IT support.

Shifting to the *Autonomation (Jidoka)* of processes, only company 7 has an approach oriented towards this purpose, although it is not structured and limited to some business areas. Overall, new technologies have improved automated processes, but ETO is still far from the extensive automation, especially for the assembly phase.

The concept of *Continuous flow* has been partially applied by only two companies, and in both cases it is not a strong cornerstone, but matches a marginal use in the production context.

About *Cell manufacturing*, the sample exhibits a wide range of layout configurations, and the concerning colour code is based on the product-orientation degree of such layouts. Some companies keep the traditional assembly stations model, such as companies 1 and 6 (red colour). Likewise, companies 2 and 8 also rely on assembly fixed positions, but they also have internal departments for manufacturing components, thus resulting in a hybrid layout (red colour anyway). Companies 4, 5 and 7 have a job shop for internal

manufacturing too, but the final assembly takes place in lines (yellow colour). Finally, company 3 has a totally output-oriented layout by presenting only the assembly lines. To summarize the sample, the fabrication of components (if present) takes place exclusively in job shop configurations, while the assembly of finished products is performed in assembly lines or islands.

Then, *Concurrent engineering* is implemented by all the companies of the sample, although only four apply it systematically.

Parts standardization/Modularisation is also adopted in all case studies, even though in seven of them it is applied exclusively to a limited number of components. Accordingly, all companies have developed a standard groundwork for each product configuration, which also brings benefits in terms of production processes. Simultaneously, there are four case studies [companies 1, 3, 5 and 8] in which development plans are aimed at increasing the standardization/modularity level of parts. The goal is univocal: reduce the internal variability while keeping the external one very high, as it represents a source of competitive advantage in an ETO environment. The only "green" company for this practice is the number 7, as a higher level of standardization was found than in the other case studies.

Visibility and information exchange is implemented in all case studies as well. In addition, companies 3 and 8 are planning future developments through the adoption of new digital supports. Overall, the use of technologies such as television screens, tablets and business management software has enormously increased the process visibility for workers, and the information sharing is significantly faster and more effective.

Process improvement/Kaizen principles are also applied in all case studies, although only four have a structured continuous improvement plan. Furthermore, the kaizen weeks of the company 5 deserve a special mention, and it's also worthwhile to recall how company 5 relies on the QRQC methodology.

Finally, the *Value identification* through VSM maps is applied in five case studies. Specifically, companies 3 and 6 used this tool only at the beginning of their Lean world introduction (yellow colour), while companies 5, 7 and 8 regularly utilize special tools. Particularly significant is the intervention of the company 7 representative, who explained us how it is necessary to first map the value stream whenever a change is going to be introduced.

Shifting the focus to the *Workforce* bundle, data collected essentially highlights a great success of all techniques. As far as *Teamwork and leadership* is concerned, four companies leverage it. For the others, namely numbers 3, 4, 7 and 8, assembly is an individual work, and the group is formed only when some problems need a resolution.

As regards the *Multi-functionality and cross-training* of employees, only in two case studies related actions are not implemented. The goal of many companies, such as the number 1, is to make the entire workforce

able to carry out all assembly operations. Conversely, other companies, such as the number 8, distinguish between operators having skills to carry out all the operations and those who do not.

The *Workforce recognition and reward* is implemented in all companies, although in six case studies it is not linked to the single operator performances (as required by Lean), but to collective agreements. Furthermore, in case study 5, rewards are linked to Lean applications, namely the company provides an acknowledgment to workers capable to apply a QRQC cycle within a single day.

About the *Continuous improvement*, only company 3 reports a not structured approach.

Similarly, *Workplace housekeeping* is fully adopted by all companies, with the only exception of companies 2 and 4 that did not explicitly talk about the 5S practice.

At the end, *Standardized work* is performed in all case studies.

The last bundle is the *Customer* one, and its practice *Customer involvement* is intrinsically included in the ETO production system (as already explained), thus resulting in eight green cells.

Quantitative analysis

The Primary analysis bring together results coming from different case studies, thus offering a global vision of lean practices implementations. Below, we will provide a numerical value to our observations, so to determine a ranking of techniques according to their implementation level. For this purpose, a specific score was assigned to each colour of Table 16:

- 2 points: if a company fully applies a certain technique (green)
- 1 point: in case of a partial application (yellow)
- 0 points: whether the practice is not implemented at all (red)

Thereby, to derive the application level of each technique, scores obtained by different companies are added up by row. Each practice can obtain a maximum score of 16 (considering 2 points for the eight different companies), thus enabling the adoption percentage calculation by dividing the overall score for sixteen. Accordingly, this ratio can be interpreted as the probability that a lean practice is implemented within an ETO company, hence complementing the RQ1a empirical analysis with a quantitative result. To conclude, all calculations are reported in Table 17.

Lean Bundle	Lean Production Practice	Scoring	Implementation percentage
Workforce	Standardized work	16	100%
Customer	Customer involvement	16	100%
Workforce	Continuous improvement	15	94%
Production planning and control	Feedback on performance metrics	14	88%
Process technology	Visibility and information exchange	14	88%
Workforce	Workplace housekeeping	14	88%
Process technology	Process improvement/Kaizen	12	75%
Process technology	Concurrent engineering	12	75%
Workforce	Workforce recognition and reward	10	63%
Production planning and control	Smoothed (levelled) production (heijunka)	9	56%
Process technology	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	9	56%
Workforce	Multi-functionality and cross-training	9	56%
Production planning and control	Visual management of production control	8	50%
Process technology	Value identification	8	50%
Workforce	Teamwork and leadership	8	50%
Supplier	JIT delivery by suppliers	6	38%
Production planning and control	Root cause analysis for problem solving	6	38%
Supplier	Feedback to suppliers	5	31%
Process technology	Cellular manufacturing, Layout size and shape	5	31%
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation	4	25%
Process technology	Visual management of quality control	4	25%
Production planning and control	Total Quality Management	4	25%
Supplier	Supplier involvement in design	3	19%
Production planning and control	Setup reduction	2	13%
Production planning and control	Statistical process control	2	13%
Process technology	Continuous flow (one-piece-flow)	2	13%
Production planning and control	Total Productive Maintenance	1	6%
Process technology	Autonomation (Jidoka)	1	6%
Supplier	Lean supplier development	0	0%

Table 17. Practices' ranking based on the quantitative scoring

As Table 17 reports, practices that all companies apply are *Customer involvement* and *Standardized work*, and the first one is easily predictable, as it represents an intrinsic condition of ETO companies. Subsequently, *Continuous improvement* for employees, *Feedback on performance metrics*, *Visibility and information exchange* and *Workplace housekeeping* are very frequent as well. It is worth recalling that these most implemented practices are not related to a repetitive context, and their popular adoption in the ETO business scenario is probably justified in this way. Conversely, the least used techniques are *TPM* and *Autonomation*. The reason behind the second one may be linked to workload unbalances that make the extensive automation too expensive, while the poor adoption of TPM has not an immediate and plausible explanation. Finally, a technique never implemented is the *Lean supplier development*. Indeed, monitored factors seem to be exclusively quality, price and reliability, thus neglecting a potential supplier improvement path.

Another interesting finding is achieved by leveraging the afore-mentioned scoring method from a bundle perspective. Accordingly, techniques belonging to the same bundle were grouped, and scores obtained in Table 17 were added up. As before, the implementation percentage was calculated, but this time it is obtained by dividing the bundle scoring for the number of practices in turn multiplied by sixteen. Results are shown below.

Lean Bundle	Scoring	Implementation percentage
Supplier	14 / 64	22%
Production planning and control	51 / 144	36%
Process technology	66 / 144	47%
Workforce	72 / 96	75%
Customer	16 / 16	100%

Table 18. Bundles' ranking based on the quantitative scoring

Customer and *Workforce* are the bundles showing the most implemented techniques. The first result was already explained, while the second one suggests that the involvement and support of employees is essential to to apply Lean successfully. This last point is perfectly aligned with Ohno's theories, who recommended delegating decisions to those who are in direct contact with the operations. Altogether, the underlying explanation of the *Workforce* bundle success seems to be the same of the single most implemented practices, as the workforce practices are not linked to a repetitive context. On the contrary, the less adopted bundle is the *Supplier* one, and a potential reason can be found in the variability of the demand that implies a limited bargaining power with them.

Correlation analysis

As previously stated in the Preamble (Section 5.3.1), the research sample is heterogeneous in terms of company size (Large companies), Structured Lean, Theoretical basis and 2D-CODP framework positionings. The first three (reference dimensions selected) will be included in the correlation analysis, while the last one is ruled out. Indeed, although positionings covers a wide spectrum, none of them is registered in more than two case studies, thus making their inclusion pointless.

Table 19 summarizes reference attributes' occurrences among different companies (dark orange cells). In addition, to enrich the sample overview, the table also includes other variables (light orange), which are excluded for the correlation analysis either way. Indeed, some companies have been guided and supported in the Lean path by external bodies, such as consulting companies. Furthermore, some managers revealed us to have taken a guided tour in Japan, as well as some firms have organized dedicated courses.

Attributes	Company 1	Company 2	Company 3	Company 4	Company 5	Company 6	Company 7	Company 8
Structured Lean	✓		✓		✓		✓	
Theoretical basis	✓		✓		✓	✓	✓	✓
Large companies		✓	✓		✓		✓	
Guided tour			✓				✓	
Consultancy support					✓	✓	✓	
Dedicated courses	✓		✓		✓		✓	✓

Table 19. Summary of companies' attributes

Looking at Table 19, only company 7 presents all the underlying attributes, while companies 3 and 5 lacks only one variable, which are Consultancy and Guided tour respectively. Contrarily, company 4 does not show any attribute, and company 2 is likewise just a large corporation.

Once explained sample's characteristics, the correlation analysis can definitely start. As aforementioned, attributes that we will consider are Theoretical basis, company size (Large companies) and Structured Lean path.

To make the upcoming correlation chart (Table 22) easier to read, a symbol and a colour code will be leveraged. A fully implemented technique will be labelled with the symbol "X", while a partial application will be represented with the symbol "O". Furthermore, whether the company has a Theoretical basis behind, the symbol will be coloured in red, while if it is a Large company the symbol will be green. Concurrently, if the company has implemented a Structured orientation towards Lean, it will be coloured in yellow.

If a case study falls into more than one category, multiple symbols will be used. Conversely, if the company does not belong to any category, the symbol will be black. To summarize the symbols used, we recall the table below.

Attributes	Full implementation	Partial implementation
Theoretical basis	X	O
Large company	X	O
Structured Lean	X	O
None of the attributes above	X	O

Table 20. Symbol and colour code for the correlation analysis

Obviously, it is already possible to establish which categories our companies fall into, thus assigning their own symbol-colour code. For convenience, we report in the following table all the possible combinations related to each company.

	Company 1	Company 2	Company 3	Company 4	Company 5	Company 6	Company 7	Company 8
Full implementation	XX	X	XXX	X	XXX	X	XXX	X
Partial implementation	OO	O	OOO	O	OOO	O	OOO	O

Table 21. Symbol-colour code used for each company

The summary table for the correlation analysis is definitely shown below (Table 22). For space reasons, companies are indicated with a "C." followed by the corresponding number, while practices are reported without mentioning the bundle they belong to. Moreover, to attain a fine comparison, techniques either applied in all case studies or never adopted are ruled out.

Lean Production Practice	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
Continuous improvement	XX	X	OOO	X	XXX	X	XXX	X
Feedback on performance metrics	XX	X	XXX	O	XXX	X	XXX	O
Visibility and information exchange	XX	X	OOO	X	XXX	X	XXX	O
Workplace housekeeping	XX	O	XXX	O	XXX	X	XXX	X
Process improvement/ Kaizen	OO	X	OOO	O	XXX	X	XXX	O
Concurrent engineering	XX	O	OOO	O	XXX	X	XXX	O
Workforce recognition and reward	XX	O	OOO	O	XXX	O	OOO	O
Smoothed (levelled) production (heijunka)	OO		XXX	O	XXX	O	OOO	O
Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	OO	O	OOO	O	OOO	O	XXX	O
Multi-functionality and cross-training	XX		OOO	O		X	XXX	O
Visual management of production control	XX			X	XXX		XXX	
Value identification			OOO		XXX	O	XXX	X
Teamwork and leadership	XX	X			XXX	X		
JIT delivery by suppliers		O	OOO		OOO	O	XXX	
Root cause analysis for problem solving		O			XXX	O	XXX	
Feedback to suppliers			OOO		XXX	O	OOO	
Cellular manufacturing, Layout size and shape			XXX	O	OOO		OOO	
Pull production/Takt time calculation		O	OOO		OOO		OOO	
Visual management of quality control					XXX		XXX	
Total Quality Management			OOO		OOO		XXX	
Supplier involvement in design				O			XXX	
Setup reduction							OOO	O
Statistical process control							XXX	
Continuous flow (one-piece-flow)	OO				OOO			
Total Productive Maintenance							OOO	
Autonomation (Jidoka)							OOO	

Table 22. Lean practices and selected attributes

Once Table 22 was outlined, a first step concerned the potential identification of techniques' clusters. Although the sample presents a small size, 4 main clusters can be identified:

- 1st Cluster: practices implemented by companies presenting all the three attributes
- 2nd Cluster: practices implemented by companies presenting a Theoretical basis
- 3rd Cluster: practices implemented by companies presenting a Large size
- 4th Cluster: practices implemented by companies presenting a Structured Lean

Importantly, all assumptions set to perform the cluster identification are the following ones:

- the difference between partial and total implementation is neglected.
- only practices showing at least two implementations are considered.
- practice belonging to the 1st Cluster clearly would belong also to other clusters, but they will be inserted only in the 1st one.
- in clusters, the presence of an attribute is not a necessary condition for the practice implementation (i.e. if an attribute is true, this does not necessarily mean that practice is implemented), but represents only a sufficient condition. Consequently, all clusters identified ground on this "sufficient condition" assumption.

By leveraging these constraints, the 4 clusters are here exhibited.

1 st Cluster	2 nd Cluster	3 rd Cluster	4 th Cluster
Total Quality Management	Value identification	Pull production/Takt time calculation	Continuous flow
Visual management of quality control	Feedback to suppliers	-	-
-	Setup reduction	-	-
-	Continuous flow	-	-

Table 23. Clusters based on the "sufficient condition"

About the 1st Cluster, *Total Quality Management* is applied only by companies 3, 5, and 7, while the *Visual management of quality control* is implemented by the numbers 5 and 7. Likely, these practices are particularly expensive in terms of money and management commitment in small companies, and too cumbersome for organizations neglecting a theoretical basis and a well-structured Lean transformation program.

As concerns the 2nd Cluster, practices detected are *Value identification*, *Feedback to suppliers*, *Setup reduction* and *Continuous flow*. Therefore, the Theoretical basis represents a sufficient condition for the applications of these techniques. Regarding the *Value Identification*, the relationship is not surprisingly since the adoption of tools like the VSM requires a Lean baseline knowledge. Likewise, *Continuous flow* is the culmination of lean practices, and requires a series of constraints (time, availability, workload balance) that only a strong Theoretical basis can enable. Vice versa, for the remaining three practices no immediate explanations come up.

On the other hand, the 3rd Cluster involves only the *Pull production/Takt time calculation*. A potential reason behind is that a larger dimension, despite the high variability of the ETO scenario, increases the repetitiveness degree of some components, which in turn enables the adoption of some lean pull techniques like kanban tags or takt time.

Finally, also the 4th Cluster registers only one practice. This is the *Continuous flow*, and this technique also belongs to the 2nd Cluster. The explanation complements the afore-mentioned one, so that *Continuous flow* requires a series of strict pre-conditions which can be obtained not only through a Theoretical basis (2nd Cluster), but also with a Structured Lean.

Up to now, techniques were analysed individually. Thereby, to provide a more complete assessment, a correlation analysis from a bundle point of view results complementary. These sets of practices will be addressed below, and some contextual considerations will enrich the speech.

Lean Production Practice	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
JIT delivery by suppliers		O	OOO		OOO	O	XXX	
Supplier involvement in design				O			XXX	
Feedback to suppliers			OOO		XXX	O	OOO	

Table 24. Correlation insight for the Supplier bundle

First bundle to tackle is the *Supplier* one. Table 24 shows how techniques are poorly implemented by all the companies in the sample, except those presenting all the three attributes. Company 7 applies two techniques in a structured manner and partially implements *Feedback to suppliers*. This technique, on the other hand, is very structured in company 5, which also partially applies *JIT delivery by suppliers*. All other companies report only partial applications of one or two practices. Therefore, the presence of all the three attributes seems to represent a determining factor for a concrete application of the *Supplier* bundle's techniques

Lean Production Practice	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
Feedback on performance metrics	XX	X	XXX	O	XXX	X	XXX	O
Smoothed (levelled) production (heijunka)	OO		XXX	O	XXX	O	OOO	O
Visual management of production control	XX			X	XXX		XXX	
Root cause analysis for problem solving		O			XXX	O	XXX	
Pull production/Takt time calculation		O	OOO		OOO		OOO	
Visual management of quality control					XXX		XXX	
Setup reduction							OOO	O
Statistical process control							XXX	
Total Productive Maintenance							OOO	

Table 25. Correlation insight for the Production planning and control bundle

All companies in the sample are able to successfully apply at least one technique in the *Production planning and control* bundle. In depth, companies 5 and 7 have implemented a higher number of techniques than the other ones. Also company 3 is characterized by all the three attributes, but even so it does not seem to follow the trend, by registering only 3 techniques.

Lean Production Practice	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
Visibility and information exchange	XX	X	OOO	X	XXX	X	XXX	O
Concurrent engineering	XX	O	OOO	O	XXX	X	XXX	O
Cellular manufacturing, Layout size and shape			XXX	O	OOO		OOO	
Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	OO	O	OOO	O	OOO	O	XXX	O
Process improvement/ Kaizen	OO	X	OOO	O	XXX	X	XXX	O
Value identification			OOO		XXX	O	XXX	X
Total Quality Management			OOO		OOO		XXX	
Continuous flow (one-piece-flow)	OO				OOO			
Autonomation (Jidoka)							OOO	

Table 26. Correlation insight for the Process technology bundle

In the *Process technology* bundle, all companies implement a greater number of practices regardless of their attributes. Plus, companies 5 and 7 adopt the greatest number of techniques again.

Lean Production Practice	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
Continuous improvement	XX	X	OOO	X	XXX	X	XXX	X
Workplace housekeeping	XX	O	XXX	O	XXX	X	XXX	X
Workforce recognition and reward	XX	O	OOO	O	XXX	O	OOO	O
Multi-functionality and cross-training	XX		OOO	O		X	XXX	O
Teamwork and leadership	XX	X			XXX	X		

Table 27. Correlation insight for the Workforce bundle

The *Workforce* is the bundle registering the greatest number of techniques applied. Nonetheless, they appear to be not correlated with the attributes under consideration.

A final analysis is conducted by setting the individual companies as the unit of analysis, and by quantitatively assessing their Lean application degree. For this purpose, the same scoring scheme used above (in the Quantitative analysis) will be leveraged. The ultimate objective is to verify whether attributes imply a greater general propensity to apply lean practices or not (regardless of the bundles).

Companies	Scoring	Theoretical basis	Large companies	Structured Lean
Company 7	44	✓	✓	✓
Company 5	38	✓	✓	✓
Company 6	27	✓		
Company 1	26	✓		✓
Company 3	24	✓	✓	✓
Company 2	21		✓	
Company 4	20			
Company 8	17	✓		

Table 28. Single companies' scoring

The two companies applying the largest number of techniques are number 7 and 5. As stated before, they own all the attributes, but it cannot be certainly asserted that these features lead to a better general implementation of Lean. Indeed, company 3 is also characterized by the same variables, but its scoring is much lower. On the contrary, company 6 obtained a considerable score, although falling into only one category. Thereby, a clear correlation between dimensions and Lean scoring does not emerge.

To conclude the RQ1a analysis, only few practices require specific dimensions or a peculiar company organization in order to be implemented. In light of this, we can conclude that the Lean transformation can take place with good results even in contexts very different from the original one.

RQ1b: How are these practices applied?

The RQ1a assessment brings out that lean techniques applied in ETO companies are surprisingly quite numerous. Either way, sometimes they might be tailored in order to be better suited to this atypical context, which is characterized by high mix and low volumes. During our interviews, we were not able to deepen peculiar ETO adaptations or atypical adoptions of practices, but the answers of representatives led us to understand most innovative and brilliant approaches anyway. Although most of these adaptations were already explained in the Primary analysis (Section 6.3.2), the current section will bring them together, thus consolidating the most suggestive and fascinating hints for Lean implementation in ETO business environments. Again, the speech will be divided according to the different bundles.

First bundle to address is the *Supplier* one, and the only novelty for *JIT delivery by suppliers* comes from company 7. Indeed, beside kanban boxes, it developed a “milk run” system for all suppliers located in the production plant nearby.

Turning to the *Lean supplier development*, which does not show any implementations, the approach followed by company 1 is interesting. Indeed, it tried to convince suppliers to ship the various components in shaped boxes, thus recognizing them at a glance.

The *Production planning and control bundle*, on the other hand, reported the most significant adaptations. About the *Pull production/Takt time calculation*, company 5 is discussing the introduction of a standard takt time with a consequent subdivision of products into families having similar or equal takt times. By doing this, also standard products with customizations could be realized at the takt time pace. Shifting the attention to the use of kanban boxes, the strength of companies working on order is their elasticity to satisfy market needs. Accordingly, in order to face demand peaks, company 2 allows operators to bring kanban boxes in their single workstations to avoid going back and forth to the supermarket. Workers can therefore “mess things up”, even infringing the 5S principle. In this way, single workstations act as “delocalized supermarkets”, which are coherently supplied by the “central supermarket”.

As concerns *Feedback on performance metrics*, company 6 has developed a metric to measure the production efficiency, exactly by dividing the hours actually needed for the estimated ones, in order to check the quality of their forecasts as well.

About the *Total Quality Management*, poka-yoke is one of the most typical tools in Lean manufacturing, but its introduction in an ETO environment is tough as the study it requires could then be exploited for only one product. To overcome this issue, company 7 has provided assemblers with wooden templates (therefore inexpensive) which can also be used for just one product.

Moving on to *Process technology*, some significant variations of traditional lean techniques take place as well. For *Visual management of quality control*, company 5 relies on quality "totems", or rather a set of screens on which the production quality progress is reported.

About *Visibility and information exchange*, company 1 has introduced a PowerBI dashboard through which information is available also to the commercial department, which can consider the current workload before making a sale. In addition, each robot brings a tag containing information on the arm model, the identification serial number, the serial number of the associated panel, the customer with her nationality and the main characteristics of the product itself, as well as a QR code. By scanning such code, operators can access technical data sheets, information on the customer and photos of the inspections already carried out.

Turning to *Process improvement/Kaizen*, company 5 has introduced a very special yearly event called "kaizen week", in which the various departments meet to pursue improvements. More in deeper, a kaizen week is an event lasting one or two weeks, that is held annually and attended by figures related to the industrial, logistics and maintenance branches. The meeting is structured in two phases: the first includes the initial day, which is used for "training" people lacking knowledge of lean techniques yet; subsequently, the second phase concerns the operative part, which typically involves a day of observation, one for the implementation of changes, one for new observations and consolidation of the change, and finally an official event closure. Company 5, beside the kaizen week, adopts the QRQC methodology, which is divided in two levels. There is the "line" QRQC, which includes daily department-level meetings in which all functions participate and where only few small problems are addressed, with the goal of closing them within twenty-four hours. And then there is the "plant" QRQC, which is very similar to the "line" QRQC, but see with the participation of the front lines of the whole plant.

Turning to the *Customer involvement*, in case study 2 an interesting process takes place. Company 2 needs to know customer's operational and environmental specifications, as they are essential to create the most suitable system. Therefore, upon involving the customer in the design phase, such company tests the system right with the material to be processed in the future. Indeed, for instance, if the wood for the chipboard were second-hand it could contain nails or pollutants and therefore would worsen the panel quality. In addition, also the customer's location can impact the system specifications, as too harsh or tropical climates affect the

characteristics of the raw material. Therefore, giving the customer the opportunity to test the system with the proper material allows to prevent any future problems and improves business performance. Obviously, the testing phase is essential also for customers, and company 8 even reconstructs the clients' plant layout to simulate operations. Overall, in the after-sales phase, product monitoring and customer relations are most often handled by the sales department, and in some cases, such as company 4, there are maintenance contracts through remote monitoring software. As a result, it is possible to monitor and gather data on machineries even remotely.

The *Workforce* has been heavily involved in the Lean transformation process of all companies. More in deeper, to reward the successful employees' involvement, company 5 has established an award for those workers carrying out a QRQC cycle in a single day. Company 1, on the other hand, also involved its employees in the preparation of manuals for standard assembly procedures. Indeed, no one knows the operations better than who carry them out.

Ultimately, it is worth pointing out that the number of companies implementing lean techniques with the help of digital tools is remarkable. Just think of the digital Andon that company 1 has created with PowerBI: it is a traditional lean tool which is digitally exploited by fully enjoying the related benefits. Many companies, such as the number 3, have also disclosed their willingness to adopt tablets for production monitoring, as already done by companies 6 and 7. Discussions about such digital changes could be more detailed, but they are out of the thesis work scope, since the digital transformation of lean techniques does not exclusively target the ETO context. By way of conclusion, Lean cannot override new technologies, as they provide a great support for automation, dissemination of knowledge and information closeness to the operator.

5.3.3. RQ2 - Challenges

RQ2: What are the main challenges ETO companies encounter in implementing lean practices?

RQ2 tackles the issues faced by ETO companies while implementing lean practices, and the possible answer will be provided in a quite different way. More in details, the analysis will be structured as follows:

- Challenges description: a disclosure of difficulties faced by companies for each practice of the reference list.
- Further assessment: a further evaluation of challenges, which includes some quantitative analysis as well.

Challenges description

Challenges registered are only those clearly stated by respondents. Accordingly, cells in Table 29 are coloured only when a challenge exists, and colours are the same adopted in the RQ1 analysis. Like that, Table 29 also figures out whether companies are able to implement the practice anyway. More in details, blue cells (those showing an on-going development) are filled with their original colours, hence making the table more human-readable.

The content of coloured cells will be unfolded in the running section, which is performed “by row”: for each practice of the reference list, challenges faced by the different companies will be compared and analysed. Actually, an assessment “by column” would only provide issues related to the same company and without any interesting link, thus making the assessment pointless. Occasionally, we will also provide a statement directly quoted from interviews to guarantee truthfulness and to make the discussion more valuable. Also in Table 29, as many previous tables, companies will be shortened in the form “C. + number”, while lean practices are clustered according to the proper bundle.

Lean Bundle	Lean Production Practice	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
Supplier	Feedback to suppliers								
	JIT delivery by suppliers								
	Supplier involvement in design								
	Lean supplier development								
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation								
	Setup reduction								
	Smoothed (levelled) production (heijunka)								
	Total Productive Maintenance								
	Visual management of production control								
	Feedback on performance metrics								
	Total Quality Management								
	Statistical process control								
	Root cause analysis for problem solving								
Process technology	Visual management of quality control								
	Autonomation (Jidoka)								
	Continuous flow (one-piece-flow)								
	Cellular manufacturing, Layout size and shape								
	Concurrent engineering								
	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability								
	Visibility and information exchange								
	Process improvement/ Kaizen								
	Value identification								
Workforce	Teamwork and leadership								
	Multi-functionality and cross-training								
	Workforce recognition and reward								
	Continuous improvement								
	Workplace housekeeping								
	Standardized work								
Customer	Customer involvement								

Table 29. Cells showing challenges

Starting from the *Supplier* bundle, the first practice *Feedback to suppliers* reports only one challenge [company 1] and concerns the difficulty to convince suppliers to adopt the ISO9001 standard.

More interesting issues coming from the *JIT delivery by suppliers* technique, which shows a wider range of hurdles. Beyond the predicted “high demand variability” [company 1], it’s remarkable the reasoning of company 3: “*The delivery lead times requested by the customer are not compatible with the delivery lead times of components*”. Therefore, company 3 applies a JIT policy only for low-value parts; moreover, company 2 declared its capability to obtain fast deliveries only with historical suppliers, while company 4’s purchases after the order are basically the customized parts, making the JIT unfeasible. Lastly, company 8 does not achieve the critical mass for finding a JIT delivery supplier.

About the *Supplier involvement in design*, company 4 refers the high risk of being tricked by suppliers because of their own interests.

The last Supplier bundle’s practice is the *Lean supplier development*, and the three challenges all agree on the unsuitable suppliers’ conditions to engage a Lean development path [company 1, 5 and 7].

Moving to the *Production planning and control* bundle, the practice *Pull production/Takt time calculation* is one of the most challenging one. Related hardships can be divided in two main subgroups: kanban issues and takt time issues. The first ones are reported exclusively by company 2, whose referent states: “*It is not automatic, it is not a process that can go ahead on its own: it always requires the presence of someone to check that the train is on the tracks*”. Namely, a frequent monitoring of the emptying time anomalies of kanban boxes is essential, thus reacting promptly. The second macro-category concerns the takt time calculation, which has shown a lot of difficulties as expected. As frequently stated, ETO environment presents a high variability that hampers the takt time calculation, a concept typically introduced in series production. Indeed, issues reported by referents ground on this presupposition, and in particular they focus on mixed-model lines’ incapability to sustain a takt time [companies 3 and 7], on frequent customizations [5] and on the lack of time standards for each assembly phase [company 6].

Setup reduction is defined as a challenging practice only by company 8, in which the underlying activities are strongly bound to the workers’ experience. Consequently, they are working on providing workforce with instructions for the machine setting.

Then, *Smoothed production* results as challenging as the Takt time calculation, thus reporting struggles that belong to a wide spectrum. Indeed, company 3 charges with a great diversity of production hours needed to realize different products and with frequent ongoing changes, which create unbalances in the production plan [this last issue is also referred by company 8]. Company 4 levels the workload by anticipating the production of some sub-components, but the tricky demand forecasting hinders this policy. Also company 6 anticipates some production activities to smooth the workload, but its issue is more focused on the WIP increase related risk. Other challenges concern the heijunka box: in some cases this tool is not able to level

the production as desired because of the huge variability [company 5], while in another case its introduction was aborted due to a space problem [company 7].

Moving to the next lean practice, namely *Total Productive Maintenance*, it shows only one challenge; indeed, company 4 told us how the different small-batch productions do not allow a TPM application.

About the *Visual management of production control* only company 1 reports some issues related to the use of technology and workforce resistance.

On the other hand, *Feedback on performance metrics* exhibits different troubles: company 1 shows a not-automatized data collecting system, company 3 is still relying on papers and company 4's not-standard cycle times make time-related performances incomputable. Similarly to company 4, company 5 mentioned the impossibility to define some internal parameters upon which they could build indicators.

Shifting to the *Statistical process control*, which is one of the least implemented technique, two companies justify their missing statistical approach with too low production volumes [companies 3 and 6], while company 5 adopts the QRQC method: "*the logic of the QRQC, in reality, is opposite to that statistics' one. Namely, statistics is an approach that leads you to perform, for example, the Pareto analysis that shows the three main problems to be approached in order. The QRQC, on the other hand, is a methodology that leads you to identify only one very small problem and to solve it*".

The *Process technology* bundle also shows some interesting insights. The *Continuous flow* practice is rarely adopted and probably the interviewees took for granted the impossibility to implement it in such a context. Indeed, only company 1 told something about and its referent mainly blamed the lack of material.

As regards the *Cellular Manufacturing*, a first hurdle is the tough work made by company 3 to create the line: "*A line that can move 25 tons is not so simple, nevertheless we have dug, we have made rails, we have made trolleys, we have used the value stream map and we have brought some production phases close to the machines*". Besides, company 6 explained us that variability pushed them to shift from assembly line to assembly stations, while another issue deals with the too high number of combinations which does not allow the creation of assembly lines [company 8].

Concurrent engineering is carried out without relevant troubles, and indeed only company 3 mentioned something about: some of its designers are unwilling to question their own projects, thus damaging the concurrent engineering flows. However, this is not something strongly related to the ETO environment.

Next practice is *Parts standardization/Modularisation*, whose implementation is not trouble-free. In addition, these challenges are all different, making the analysis more stimulating. In depth, company 1 has to face the problem to find components or materials that fulfil all diverse regulations; company 3 is still discussing about the potential benefits of a standardization approach since managers are scared of increasing engineering lead times; company 4 is strongly bound by some customers' decisions, and finally company 5 frequently receives designs by the business clients, and therefore it cannot standardize or modularise anything.

Likewise, also *Visibility and information exchange* registers a good number of implementation hurdles. More exactly, making data accessible via QR code for workers is very burdensome in company 1, while company 3 is currently discussing the introduction of a proper supporting visual device for operators, and especially the choice is between tablets and monitors. Plus, in company 8 some information needed during the working activities is constrained to the workers' memory, while company 6 is still relying on papers, which drastically slow flows down.

About the *Process improvement/Kaizen*, companies 1 and 3 rely exclusively upon one person for the Lean spreading within the organization, making the kaizen philosophy confined to only them. Instead, company 4 points the finger at the economic aspect by considering a product/component review too much expensive. Still on kaizen challenges, company 5 needs to boost data gathering before putting in place improvements. To conclude, *Value identification* issues are limited to the companies 1 and 8, which both revealed their struggles to map the high-variable processes (as expected).

Moving on, there's the *Workforce* bundle. For what concerns the *Multi-functionality and cross-training* practice, there are different motivations that push companies to limit the job rotation: fear of decreasing performances by moving some workers [company 3], high skills required to perform a specific task [company 4], tendency to always have the same people for a specific order to be eventually quicker to solve a problem [company 6], and the division of orders into "difficulty bands" (A, B and C) [company 8].

About the *Workforce recognition and reward*, the referent of company 1 admits some property's resistances, while others base rewards on second-level agreements, thus disregarding single workers contributions [companies 3 and 7].

Further, for *Continuous improvement* the only challenge is the one explained by company 2. Indeed, they give free space to assembly workers to put in place modifications, but operators always have to communicate those changes to the technical office in order to avoid future problems.

The *Workplace housekeeping* technique is one of the most implemented and the sole company which experienced some issues is the number 6: despite the simplicity of such practice, workforce become hardly familiar with the 5S.

To conclude, the *Customer* bundle with its *Customer involvement* practice is quite challenging for companies. Precisely, company 1 emphasizes how customer requests are generating an ever-growing variability, while company 2 told something about the agreements made for some peculiar performances during the contractual phase, which must be fulfilled by the machine at the end. Company 3, indeed, explained us that the customer's workers are sometimes not prepared to fully exploit machine potentialities. Finally, the referent of company 8 said that some customers oftentimes do not know what even a manipulator is, making the information flows very cumbersome and on-going changes more frequent.

Further assessment

A pure quantitative analysis does not perfectly fit the RQ2 purpose. However, numbers are used in the table presented below, which summarizes the previous rows.

Lean Bundle	Lean Production Practice	Companies mentioning challenges	Percentage
Production planning and control	Smoothed (levelled) production (heijunka)	6	75%
Supplier	JIT delivery by suppliers	5	62,5%
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation	5	62,5%
Production planning and control	Feedback on performance metrics	4	50%
Process technology	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	4	50%
Process technology	Visibility and information exchange	4	50%
Process technology	Process improvement/ Kaizen	4	50%
Workforce	Multi-functionality and cross-training	4	50%
Customer	Customer involvement	4	50%
Supplier	Lean supplier development	3	37,5%
Production planning and control	Statistical process control	3	37,5%
Process technology	Cellular manufacturing, Layout size and shape	3	37,5%
Workforce	Workforce recognition and reward	3	37,5%
Process technology	Value identification	2	25%
Supplier	Feedback to suppliers	1	12,5 %
Supplier	Supplier involvement in design	1	12,5%
Production planning and control	Setup reduction	1	12,5%
Production planning and control	Total Productive Maintenance	1	12,5%
Production planning and control	Visual management of production control	1	12,5%
Process technology	Continuous flow (one-piece-flow)	1	12,5%
Process technology	Concurrent engineering	1	12,5%
Workforce	Teamwork and leadership	1	12,5%
Workforce	Continuous improvement	1	12,5%
Workforce	Workplace housekeeping	1	12,5%
Production planning and control	Total Quality Management	0	0%
Production planning and control	Root cause analysis for problem solving	0	0%
Process technology	Visual management of quality control	0	0%
Process technology	Autonomation (Jidoka)	0	0%
Workforce	Standardized work	0	0%

Table 30. Number of challenges for each practice

For each practice, the table shows the number of companies reporting a challenge and the concerned percentage. Results state that the technique presenting the higher number of issues is the *Smoothed production* (6 companies), directly followed by *Pull Production/Takt time calculation* and *JIT delivery by suppliers* with both 5 case studies. Meanwhile, other challenging practices are for instance *Parts standardization/Modularisation*, *Feedback on performance metrics*, *Customer involvement*, *Visibility and information exchange*, *Process improvement/Kaizen* and *Multi-functionality and cross-training* (4 companies each). Conversely, there are techniques registering no implementing difficulties, such as *Total Quality Management*, *Root cause analysis for problem solving*, *Visual management of quality control*, *Autonomation* and *Standardized work*.

An interesting additional outcome concerns the relation that challenges might have with the practice adoption degree (i.e. implemented, partially implemented, not implemented). Indeed, difficulties can arise when companies partially or wholly use the practice, or even they can definitely prevent some techniques' adoption. The following table (Table 31) can be seen as an explosion of the previous one (Table 30), as challenges are partitioned according to the adoption degree of practices (for space reason, Table 31 is provided in the next page in order to keep it in only one page).

Lean Bundle	Lean Production Practice	Challenges if the practice is totally implemented	Challenges if the practice is partially implemented	Challenges preventing the practice adoption
Supplier	Feedback to suppliers			1
	JIT delivery by suppliers		2	3
	Supplier involvement in design		1	
	Lean supplier development			3
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation	1	3	2
	Setup reduction		1	
	Smoothed (levelled) production (heijunka)	2	4	
	Total Productive Maintenance			1
	Visual management of production control	1		
	Feedback on performance metrics	3	1	
	Total Quality Management			
	Statistical process control			3
	Root cause analysis for problem solving			
Process technology	Visual management of quality control			
	Autonomation (Jidoka)			
	Continuous flow (one-piece-flow)		1	
	Cellular manufacturing, Layout size and shape	1		2
	Concurrent engineering		1	
	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability		4	
	Visibility and information exchange	2	2	
	Process improvement/ Kaizen	1		3
	Value identification			2
Workforce	Teamwork and leadership			
	Multi-functionality and cross-training	1	3	
	Workforce recognition and reward	1	2	
	Continuous improvement	1		
	Workplace housekeeping	1		
	Standardized work			
Customer	Customer involvement	4		

Table 31. Number of challenges according to the implementation degree of practices

Looking at the table, an interesting finding is represented by those practices showing at least one challenge when they are implemented (fully or partially) and at least one if they are not adopted at all. Namely, such challenges can be either so strong to not allow the practice implementation or more tempered and so to enable the adoption anyway. This peculiar bunch of practices encompasses: *JIT delivery by suppliers*, *Pull Production/Takt time calculation*, *Cellular manufacturing* and *Process improvement/Kaizen*. Conversely, another remarkable set of techniques is represented by those showing only challenges when they are not adopted, meaning that these issues basically prevent the practice implementation. They are *Feedback to suppliers*, *Lean supplier development*, *Total Productive Maintenance*, *Statistical process control* and *Value identification*. Finally, also the bunch of practices reporting challenges only when they are partially or totally implemented can be identified, and clearly includes all practices (showing at least one practice) which have not been allocated in the two previous sets.

Interestingly, only *Pull production/Takt time calculation* reports at least one practice for each adoption degree: 1 firm that fully implement it, 4 companies adopting it partially and 1 company unable to do that.

Also for RQ2 potential correlations were investigated. More in details, each company's number of challenges were paired with the attributes used in the previous chapter, namely Theoretical basis, Large company and Structured Lean.

Companies	Number of challenges	Theoretical basis	Large company	Structured Lean
Company 3	13	✓	✓	✓
Company 1	12	✓		✓
Company 8	9	✓		
Company 4	8			
Company 6	7	✓		
Company 5	7	✓	✓	✓
Company 2	4		✓	
Company 7	4	✓	✓	✓

Table 32. Number of challenges and selected attributes

Companies are sorted according to a descending order of challenges' number, and the presence of attributes is marked with the symbol ✓. Unfortunately, no correlations were found. Namely, the number of challenges encountered by companies seems to be not correlated with variables analysed. This result could have several explanations, such as the wrong dimensions used or the small dimension of the sample, which cannot reveal such relations.

By way of conclusion, it is worthwhile joining the two previous tables' themes. Therefore, we investigated whether company attributes we examined are into a relationship with the implementation degree of lean techniques presenting difficulties. For this purpose, the percentage for each implementation level (whole, partial or absent) was calculated. Results obtained are summarized in the following table.

	Company 1	Company 2	Company 3	Company 4	Company 5	Company 6	Company 7	Company 8
No implementation	42%	0%	15%	38%	29%	43%	25%	38%
Partial implementation	17%	50%	54%	63%	14%	14%	75%	63%
Whole implementation	42%	50%	31%	0%	57%	43%	0%	0%
<i>Theoretical basis</i>	✓		✓		✓	✓	✓	✓
<i>Large company</i>		✓	✓		✓		✓	
<i>Structured Lean</i>	✓		✓		✓		✓	

Table 33. Implementation degree of challenging practices and selected attributes

It emerges that large companies, while encountering difficulties, have a percentage of non-implementation that reaches a maximum of 29% (Company 5), compared to a minimum of 38% of SMEs registered by both companies 8 and 4. It follows that being a large company contributes to overcoming hurdles encountered in the implementation phase. The reasons behind this correlation may lie in a better structuring of the corporate bureaucracy or, more simply, in the greater capital availability. In company 2 there is even a 0% of techniques whose implementation was made impossible by the presence of difficulties. It is worth recalling that this analysis relies on what emerged from the interviews, and therefore not all existing difficulties are actually reported in this paragraph. However, the relationship explained above is still valid as it is verified by all the companies in the sample.

5.3.4. RQ3 - Variability

RQ3: How do these practices support variability reduction and variability management?

Once fixed RQ1 and RQ2, it falls to RQ3. By dealing with variability, the whole analysis revolves around the distinction between “reduction” and “management” concepts, which however do not require any further explanation. Practices were analysed by leveraging this dichotomic approach and all data collected is conveyed in Table 34. For each yellow or green cell (which indicates a partial or a total implementation of the practice, respectively), the selection between “reduction” and “management” was made according to different qualitative factors:

- Effect of the practice considering its formal definition
- Contingent adaptations or extensions of techniques
- Reasons behind the implementation of the practice
- More impacted form of variability of the practice considered

We introduced the fourth factor since variability is extremely high in ETO companies, and it arises through different manifestations such as product variability or process variability.

Table 34 represents so the starting point for the whole RQ3 assessment, which will be gradually deployed in this section. In depth, we will perform a lean practice clustering according to the management or reduction purposes, and finally this classification will be extended to bundles as well (for space reason, Table 34 is provided in the next page in order to keep it in only one page).

Lean Bundle	Lean Production Practice	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
Supplier	Feedback to suppliers			Reduction		Management	Management	Management	
	JIT delivery by suppliers		Management	Management		Management	Management	Management	
	Supplier involvement in design				Management			Reduction	
	Lean supplier development								
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation		Management	Management		Reduction		Management	
	Setup reduction							Reduction	Reduction
	Smoothed (levelled) production (heijunka)	Management		Management	Reduction	Management	Reduction	Reduction	Reduction
	Total Productive Maintenance							Reduction	
	Visual management of production control	Management			Management	Management		Management	
	Feedback on performance metrics	Management	Management	Management	Management	Management	Management	Management	Management
	Total Quality Management			Reduction		Reduction		Reduction	
	Statistical process control							Reduction	
	Root cause analysis for problem solving		Reduction			Reduction	Reduction	Reduction	
Process technology	Visual management of quality control					Management		Management	
	Autonomation (Jidoka)							Reduction	
	Continuous flow (one-piece-flow)	Management				Management			
	Cellular manufacturing, Layout size and shape			Reduction	Reduction	Reduction		Reduction	
	Concurrent engineering	Reduction	Reduction	Management	Management	Reduction	Management	Reduction	Management
	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction
	Visibility and information exchange	Management	Management	Management	Management	Management	Management	Management	Management
	Process improvement/ Kaizen	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction
	Value identification			Reduction		Management	Reduction	Management	
Workforce	Teamwork and leadership	Management	Management			Management	Management		
	Multi-functionality and cross-training	Management		Management	Management		Management	Management	Management
	Workforce recognition and reward	Management	Management	Management	Management	Management	Management	Management	Management
	Continuous improvement	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction
	Workplace housekeeping	Management	Reduction	Management	Reduction	Reduction	Management	Reduction	Management
	Standardized work	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction	Reduction
Customer	Customer involvement	Management	Management	Management	Management	Management	Management	Management	Management

Table 34. Variability management and reduction purposes

As previously stated, Table 34 offers a holistic view of the sample in terms of variability management and reduction purposes. Subsequently, this information set was processed, thus flowing into the following results.

Lean Bundle	Lean Production Practice	Reduction occurrences	Management occurrences	Reduction %	Management %	CLUSTER
Supplier	Feedback to suppliers	1	3	25%	75%	Management
	JIT delivery by suppliers	0	5	0%	100%	Management
	Supplier involvement in design	1	1	50%	50%	Mixed
	Lean supplier development	0	0			
Production planning and control	Pull production/Takt time calculation	1	3	25%	75%	Management
	Setup reduction	2	0	100%	0%	Reduction
	Smoothed (levelled) production (heijunka)	4	3	57%	43%	Mixed
	Total Productive Maintenance	1	0	100%	0%	Reduction
	Visual management of production control	0	4	0%	100%	Management
	Feedback on performance metrics	0	8	0%	100%	Management
	Total Quality Management	3	0	100%	0%	Reduction
	Statistical process control	1	0	100%	0%	Reduction
Process technology	Root cause analysis for problem solving	4	0	100%	0%	Reduction
	Visual management of quality control	0	2	0%	100%	Management
	Autonomation (Jidoka)	1	0	100%	0%	Reduction
	Continuous flow (one-piece-flow)	0	2	0%	100%	Management
	Cellular manufacturing, Layout size and shape	4	0	100%	0%	Reduction
	Concurrent engineering	4	4	50%	50%	Mixed
	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	8	0	100%	0%	Reduction
	Visibility and information exchange	0	8	0%	100%	Management
	Process improvement/ Kaizen	8	0	100%	0%	Reduction
Value identification	2	2	50%	50%	Mixed	
Workforce	Teamwork and leadership	0	4	0%	100%	Management
	Multi-functionality and cross-training	0	6	0%	100%	Management
	Workforce recognition and reward	0	8	0%	100%	Management
	Continuous improvement	8	0	100%	0%	Reduction
	Workplace housekeeping	4	4	50%	50%	Mixed
	Standardized work	8	0	100%	0%	Reduction
Customer	Customer involvement	0	8	0%	100%	Management

Table 35. "Management" and "Variability" occurrences for each practice

With reference to Table 35, each practice reports the number of “management” and “reduction” occurrences, and respective percentages were calculated too. By relying on such percentages, lean techniques were classified into 3 main clusters (last column of Table 35):

- “Management”: if management occurrences % is higher than 66%
- “Reduction”: if reduction occurrences % is higher than 66%
- “Mixed”: otherwise

Table 36 is here provided to exhibit a summary of the classification, hence to figure out each cluster numerosity.

Management	Reduction	Mixed
Feedback to suppliers	Setup reduction	Supplier involvement in design
JIT delivery by suppliers	Total Productive Maintenance	Smoothed (levelled) production (heijunka)
Pull production/Takt time calculation	Total Quality Management	Concurrent engineering
Visual management of production control	Statistical process control	Value identification
Feedback on performance metrics	Root cause analysis for problem solving	Workplace housekeeping
Visual management of quality control	Autonomation (Jidoka)	
Continuous flow (one-piece-flow)	Cellular manufacturing, Layout size and shape	
Visibility and information exchange	Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	
Teamwork and leadership	Process improvement/ Kaizen	
Multi-functionality and cross-training	Continuous improvement	
Workforce recognition and reward	Standardized work	
Customer involvement		
12 Practices	11 Practices	5 practices

Table 36. Practices’ clusters according to variability management and reduction purposes

Through this clustering process, we were able to identify how companies adopt practices in terms of variability management and reduction purposes. Either way, it’s interesting to deepen those techniques belonging to the “mixed” cluster, just in order to reveal why the mixed nature has emerged.

The first mixed practice is *Supplier involvement in design*, and Table 34 shows how company 4 is oriented to variability management, while company 7 is focused on variability reduction. More precisely, company 4 relies on suppliers' involvement in the design phase only for small particular components, thus trying to only manage variability. On the other hand, in company 7 a co-engineering phase with a set of "core" customers takes place, and accordingly the referent said: "*Our designers, when there is a specific market request for a new product or when a client needs a customization, interface with "core" suppliers in order to literally set a co-engineering both from a technical solution point of view and in terms of production industrialization*". Hence, it follows that their involvement helps company to reduce variability for subsequent processes too. The second mixed practice is *Smoothed production*, as it reports 4 "reduction" and 3 "management" purposes. Here the difference just lies on the levelling techniques used. Indeed, the heijunka box helps company to exclusively manage variability, since it does not provide any variability reduction effect in terms of volumes and product variety. Conversely, companies adopting not-typical lean techniques for smoothing production, such as anticipation or buffer creation, are able to reduce variability. It's like to follow a "push" logic, thus balancing the workflow inside the company.

Then, *Concurrent engineering* shows 4 "management" purposes and 4 "reduction" ones. This time, reasons justifying the diversity are not so defined as those of the two previous mixed techniques. However, companies adopting the concurrent engineering to voluntarily anticipate future problems or streamline production processes are intended to reduce variability, while those companies in which these benefits do not clearly emerge only manage variability.

As concerns the *Value identification*, Table 34 exhibits a perfect balance between variability management and reduction purposes, with 2 occurrences each. Deepening this issue, we decided to assign "reduction" to those companies which applied the VSM only in the past, thus in correspondence of the Lean path beginning. Indeed, the first time VSM is applied, it allows to severely streamline processes, thus reducing variability too. On the other hand, companies still adopting VSM (or other instruments) periodically are intended to only manage variability since related improvements are stepwise and do not justify a variability reduction as the first use of VSM.

Last mixed practice is the *Workplace housekeeping*. Likewise the Concurrent engineering, the distinction between management and reduction is not so sharp. Indeed, the decision was taken on a qualitative way by leveraging on the workstations' description provided by referents. However, this technique seems to manage and reduce variability simultaneously, thus validating the "mixed" cluster.

Next step of RQ3 assessment concerns the adoption of a bundle perspective to basically perform the same analysis carried out so far. Thereby, it's newsworthy unfolding the variability orientation of bundles too. For this purpose, same clusters assigned to practices were used (i.e. "Management", "Reduction" and "Mixed"), and the following table reports all relative numbers.

Lean Bundle	Number of "Management" practices	Number of "Reduction" practices	Number of "Mixed" practices	Overall result
Supplier	2	0	1	"Management"
Production planning and control	3	5	1	"Reduction"
Process technology	3	4	2	"Reduction"
Workforce	3	2	1	"Management"
Customer	1	0	0	"Management"

Table 37. Bundle perspective for variability analysis

Table 37 states that 3 bundles are more oriented to the variability management, while only two mainly deal with variability reduction. A remarkable finding is that *Supplier* and *Customer* bundles, which refer to external players, are more oriented to the variability management. Vice versa, *Production planning and control* and *Process technology*, that are more focused on the internal side, deal with variability reduction. In other words, lean practices dealing with internal processes appear to be more suitable for variability reduction, while techniques referring to the external interfaces seem to be focused on variability management. Finally, *Workforce* bundle is more oriented to the variability management, although it addresses internal situations.

A final analysis is aimed at finding a relationship between number of techniques for variability "reduction" or "management" intentions and the three reference attributes. Thereby, the percentage for each of the two possible purposes is calculated, and then the potential correlations are tackled.

	Company 1	Company 2	Company 3	Company 4	Company 5	Company 6	Company 7	Company 8
Management	10	7	10	8	12	10	10	7
Reduction	5	7	8	7	10	7	15	6
Total	15	14	18	15	22	17	25	13
Management %	67%	50%	56%	53%	55%	59%	40%	54%
Reduction %	33%	50%	44%	47%	45%	41%	60%	46%
<i>Theoretical basis</i>	✓		✓		✓	✓	✓	✓
<i>Large company</i>		✓	✓		✓		✓	
<i>Structured Lean</i>	✓		✓		✓		✓	

Table 38. Variability purposes and selected attributes

From Table 38, only company 7 applies lean practices mainly to reduce variability, while the others basically focus on its management, except company 2 which presents a perfectly balanced division between the two options. It's worth recalling that company 7 is also the one obtaining the highest score in terms of Lean implementation (Section 5.3.2). Such company is featured by all the attributes considered, but this condition does not seem to be correlated with the percentage of techniques used to reduce variability, as company 5 and company 3 also have the same characteristics and they do not follow this trend. To conclude, any relations between different variability purposes and selected dimensions do not emerge, and this is probably due to the fact that the concepts of "reduction" and "management" are strongly related to the practice regardless of companies' characteristics.

6. Discussion

This section aims at consolidating all the previous findings, by making a summary of empirical case study results and by establishing a benchmark between them and SLR findings. Therefore, this chapter will be articulated as follows:

- Presentation of the answers to the Research Questions
- Benchmark between case studies and systematic literature review

6.1. Presentation of the answers to the Research Questions

RQ1: (a) *What are the lean practices applied in ETO companies?* (b) *How are these practices applied?*

First Research Question investigates which lean practices are applied in the ETO business scenario, as well as those changes they have to undergo to better suit the new context. And this is why the underlying analysis was carried out by splitting the research question into RQ1a and RQ1b.

RQ1a assessment was articulated in three main sections: Primary analysis, Quantitative analysis and Correlation analysis. Primary analysis brought together results coming from different case studies, thus offering a global vision of lean practices implementations. Among the 29 techniques considered, only the *Lean supplier development* revealed to be not applied in any of the eight companies. Vice versa, all other practices were implemented in at least one case study. It's worth pointing out that not all applications are consistent with the formal definition of Lean manufacturing, thus coming across partial introductions or ETO adaptations. Contextually, due to similarities and correspondences detected, sometimes there were allegories or equivalences which justified the technique adoption. More in deeper, the analysis leveraged a distinction between full applications, i.e. practices consistent with the Lean dictates and/or applied in a systematic way, and partial applications (more details about the adoption degree are provided in the Annex).

Turning to the Quantitative analysis, a specific scoring method for turning implementations into numbers was adopted. Results found out that some techniques are more applied than others within ETO companies. In particular, *Standardized work* and *Customer involvement* were used in all case studies. This last practice was however easily predictable, as in the ETO environment operations necessarily start by listening to the customer's needs. In general, *Workforce bundle's* techniques register a good level of implementation, unlike

those belonging to the *Supplier* bundle. Therefore, developing Lean internally would seem easier than sharing it with third parties, although many companies still heavily rely on the experience of employees. Altogether, practices collecting the greatest interest of representatives were those belonging to the *Production planning and control* bundle, as well as those of *Process technology*, although this was not always translated into a greater application level.

Subsequently, the Correlation analysis was performed, and thus a potential relationship between lean techniques and the three attributes, i.e. Theoretical basis, Large company and Structured Lean, was investigated. By leveraging the “sufficient condition” (better explained in the proper Section) and other constraints, 4 main clusters were identified: 1st Cluster lists techniques that require the presence of all the three variables to be implemented, and they are *Total Quality Management* and *Visual management of quality control*. One might conclude that these techniques are too complicated to be applied without the presence of a Structured Lean, which in turn requires the presence of a solid Theoretical basis, and at the same time they are too burdensome to take place in SME contexts. Besides, the 2nd Cluster includes practices implemented by companies presenting lean Theoretical basis, and so *Value identification*, *Feedback to suppliers*, *Setup reduction* and *Continuous flow*. 3rd Cluster was about techniques adopted by Large companies, and the only practice fulfilling such condition is the *Pull production/Takt time calculation*. Accordingly, a potential reason is that a larger dimension increases the repetitiveness degree of some components, which in turn enables the adoption of some lean pull techniques like kanban tags or takt time. Finally, the 4th Cluster lists practices used by companies showing a Structured Lean, and only the *Continuous flow* was detected. Indeed, such practice can be seen as the flagship of Lean production activities, thus requiring conditions that only the Structured Lean can ensure. Once performed this classification, the unit of the correlation analysis became the single bundle, but no correlations were detected. Finally, also a relationship between the three attributes and the overall Lean level of single companies (calculated using the same scoring method of the Quantitative analysis) was searched. It emerged only a weak correlation between the presence of the three attributes and a higher Lean scoring. Indeed, although the two greatest results are achieved by companies showing all the attributes (companies 5 and 7), company 3 presents all dimensions too but “breaks the rule” by scoring a medium result. However, it is worth recalling that a high number of techniques is not necessarily translated into a good Lean overall level, as it depends on how these are implemented.

RQ1b addressed the adaptations and/or extensions that lean practices have to incur in order to better suit the ETO environment, and the whole Research Question assessment was focused on presenting the most innovative hints detected during the interviews. For instance, a form of “delocalized lean supermarkets” was introduced in a case study, while in another one a “standard takt time” is going to be set. Besides, specific indicators were created for monitoring typical performances of an ETO environment (e.g. actual hours over

estimated hours for the assembly activities), as well as interesting kaizen activities like the “kaizen week” were detailed explained. Overall, the RQ1b analysis outlined a wide diffusion of lean practices exploiting digital communication tools, such as the digital Andon and the automatic warehouses. Almost all case studies touch the Industry 4.0 paradigm, which concerns the collection and sharing of information inside companies through the use of IoT devices. New technologies likely represent the future of the Lean management model, although it is not a topic strictly concerning the transposition of Lean in the ETO scenario, as companies working in a make to stock mode undergo this digital shift as well.

RQ2: What are the main challenges ETO companies encounter in implementing lean practices?

RQ2 addressed issues faced by ETO companies while implementing lean practices. A first overall finding is that difficulties present very different natures and range from the human to the technological factor, as well as from the lack of critical volumes to the simplest unnecessary introduction. RQ2 analysis was divided into two main sections: “Challenges description”, in which all hurdles were explained, and “Further assessment” where some quantitative analyses were performed.

Focusing on the “Further assessment”, the first step was about calculating the number of challenges reported by each single practice. By leveraging these numbers, the technique showing the highest number of issues is *Smoothed production* (6 challenges), where on-going customer changes and different work hours needed by products are just an example. This practice is closely followed by *JIT delivery by suppliers* and *Pull production/Takt time calculation* (5 challenges each), which reported dissimilar issues. On the other hand, some techniques as Total Quality Management did not exhibit any issues, although they are among the least implemented ones. The reason behind this condition is that companies’ referents focused or mentioned only problems about techniques they try to apply, thus neglecting not-implemented practices. Concurrently, the sole practice that did not show difficulties even by presenting a good implementation degree was the *Standardized work*. Next step in the “Further assessment” was about investigating the relation that challenges might have with the practice adoption degree (i.e. implemented, partially implemented or not implemented). Indeed, challenges can arise when companies partially or wholly implement the practise, or they can definitely prevent some techniques’ adoption. Therefore, by crossing challenges and relative practices’ implementation degree, techniques were classified in different clusters. For instance, the set of practices showing hurdles only when they are not adopted is very interesting, and involves *Feedback to suppliers*, *Lean supplier development*, *Statistical process control*, *Value Identification* and *Total Productive Maintenance*. Most of techniques, either way, are always applied despite the arising difficulties. As a result,

we can infer that almost all lean practices can be implemented in an ETO environment, although efforts can be tough. Finally, a comparative analysis was carried out between difficulties and the three reference attributes. Even though such dimensions seem not to imply a higher or lower number of issues, the analysis found out that large companies are more likely to overcome challenges (i.e. implement partially or wholly the practice anyway) than SMEs. The concerning likely explanation may lie in the higher resources owned by big companies (financial, ICT, workforce) to support Lean application.

RQ3: *How do these practices support variability reduction and variability management?*

As previously stated, variability is extremely high in ETO contexts, and presents different manifestations as product or process variability. Through the implementation of lean practices, variability can be reduced or managed, and this dichotomy represents the cornerstone of the whole RQ3 assessment. Broadly, when a technique is implemented with the aim of reducing variability, the attempt to get rid of wastes is underlying. Conversely, when dealing with its management, variability cannot be reduced, or even it could show its bright side. Indeed, the external variability (product) represents for instance a source of competitive advantage.

By leveraging some qualitative factors, each lean practice application (i.e. each cell of Table 34) was labelled with the term “management” or “reduction”. Therefore, by adding up the eight companies’ variability purposes for each practice, such techniques were clustered in three groups. The first cluster includes techniques showing a higher number of “reduction” occurrences (11 practices), and *Parts standardization/Modularisation* is one of the prime examples. Indeed, by standardizing or modularising parts, product (internal) variability is reduced. Conversely, the second category is constituted by those practices showing more “management” purposes (12 practices). This cluster includes, for instance, *JIT delivery by suppliers* and *Feedback on performance metrics*. Finally, there is a third group of 5 techniques aimed at both managing and reducing variability: *Supplier involvement in design*, *Smoothed production*, *Concurrent engineering*, *Value identification* and *Workplace housekeeping*. Thereby, such practices do not have a well-defined purpose in terms of variability, and the selection between “reduction” or “management” is strongly based on single company related factors, such as the motivations behind the implementation or the practice adoption degree.

Next step of RQ3 assessment concerned the adoption of a bundle perspective to basically perform the same analysis carried out so far, hence the classification of practices in “Reduction”, “Management” and “Mixed” clusters. The analysis revealed that *Production planning and control* and *Process technology* are more aimed at reducing variability. Likely, these techniques are more linked to the lean vision of waste reduction. Vice

versa, *Supplier*, *Customer* and *Workforce* mainly manages variability. And it is worth mentioning how the first two represent external players, thus inferring that lean practices adopted on external interfaces seem to be more suitable for variability management.

A final analysis was aimed at finding a relationship between the number of techniques for variability "reduction" or "management" and the three reference attributes. Unfortunately, no correlations emerged.

For commodity, the following table summarizes all main empirical findings.

	Main empirical findings
RQ1a	<ul style="list-style-type: none"> - 28 out of 29 practices are implemented at least once in the sample (<i>Lean supplier development</i> is the only one never applied) - <i>Standardized work</i> and <i>Customer involvement</i> are the two most implemented techniques - <i>Workforce</i> is the most implemented bundle - Theoretical basis, Large company and Structured Lean seem to affect some practices implementations
RQ1b	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Production planning and control</i> is the bundle showing the most interesting ETO adaptations - Wide diffusion of lean practices exploiting digital tools
RQ2	<ul style="list-style-type: none"> - Techniques showing the highest number of issues are <i>Smoothed production</i> (6 challenges), <i>JIT delivery by suppliers</i> (5 challenges) and <i>Pull production/Takt time calculation</i> (5 challenges). - Practices which have not reported any difficulties are <i>Total Quality Management</i>, <i>Root cause analysis for problem solving</i>, <i>Visual management of quality control</i>, <i>Autonomation</i> and <i>Standardized work</i> - There seems to be some relationships between challenges and the implementation level of practices - Large companies are more likely to overcome hurdles (implement partially or wholly the practice either way) than SMEs
RQ3	<ul style="list-style-type: none"> - Beside practices mainly aimed at reducing or managing variability, there is also a set of techniques with a mixed purpose (both management and reduction) - <i>Production planning and control</i> and <i>Process technology</i> are more aimed at reducing variability, whilst <i>Supplier</i>, <i>Customer</i> and <i>Workforce</i> mainly manages variability

Table 39. Summary of the main empirical findings

6.2. Benchmark between case studies and systematic literature review

Once consolidated findings of empirical case studies, a comparison between such results and those outlined by the systematic literature review (Section 4) is precious. Nonetheless, significant differences exist in terms of how Research Questions were addressed by these two methodologies, also in light of their opposite underlying structures: 63 papers against 8 real companies. Moreover, it is worth recalling that articles analysed in the SLR were mainly about the construction industry, whilst case studies were explicitly focused on the machinery and equipment sector. Additionally, also criteria used to register single practices implementations, challenges and variability purposes were sometimes different. In light all of these considerations, this section will include only an attempt to place results side by side, thus unfolding main similarities and gaps. More in deeper, the benchmark will consist in different tables where common practices (i.e. shared by SLR and case studies) are coloured in green.

RQ1a - 7 most implemented practices

SLR	Case studies
Pull production/Takt time calculation	Standardized work
Process improvement/Kaizen	Continuous improvement
Parts standardization/Modularisation	Feedback on performance metrics
Value Identification	Visibility and information exchange
Visual management of production control	Workplace housekeeping
Continuous improvement	Process improvement/ Kaizen
Root cause analysis for problem solving	Concurrent engineering

Table 40. Benchmark for the 7 most implemented practices

RQ1a - 7 least implemented practices

SLR	Case studies
Visual management of quality control	Total Productive Maintenance
Workforce recognition and reward	Autonomation
Autonomation	Lean supplier development
Smoothed production	Supplier involvement in design
Lean supplier development	Setup reduction
Supplier involvement in design	Statistical process control
Feedback to suppliers	Continuous flow

Table 41. Benchmark for the 7 least implemented practices

RQ1b - Most ETO adapted techniques

SLR	Case studies
Pull production/Takt time calculation	JIT delivery by suppliers
Value identification	Pull production/Takt time calculation
Continuous flow	Feedback on performance metrics
Root cause analysis on problem solving	Total Quality Management
Feedback on performance metrics	Visibility and information exchange
Visual management of production control	Process improvement/Kaizen

Table 42. Benchmark for the 7 most adapted practices

RQ2 - Most challenging practices

SLR	Case studies
Parts standardization/Modularisation	Smoothed (levelled) production (heijunka)
Pull production/Takt time calculation	JIT delivery by suppliers
Value identification	Pull production/Takt time calculation
Process improvement/Kaizen	Feedback on performance metrics
Root cause analysis for problem solving	Parts standardization/Modularisation
Visibility and information exchange	Visibility and information exchange
	Process improvement/ Kaizen
	Multi-functionality and cross-training

Table 43. Benchmark for the 7 most challenging practices

RQ3 - Variability management and reduction

Due to the totally different criteria used to assess the RQ3, a benchmark is not manageable.

Previous tables merely reveal a moderate matching between SLR results and case studies ones, and the highest overlapping is registered in the “7 least implemented practices” (3 matches) and in the “most challenging practices” (4 matches). By adopting a bundle perspective, it is worth recalling the literature gaps emerged by the SLR. Indeed, among such gaps, the *Workforce* and the *Supplier* bundles were argued to be the least implemented ones. Empirical findings have confirmed the poor adoption of the Supplier bundle, whilst the Workforce one was frequently applied in case studies, hence validating again the low similarity between SLR and case studies results.

7. Conclusion

Altogether, the research thesis deepened the lean practices implementation in the ETO business context. The worked started with a brief theoretical introduction of Lean manufacturing and its relative practices, as well as with a condensed disclosure of the ETO fulfilment strategy, in turn complemented with an insight on the 2D-CODP (Two-Dimensional Customer Order Decoupling Point), insofar as it is a typical ETO concept.

The first functional step of the dissertation was the systematic literature review. A pool of 63 papers was extracted from Scopus and Web of Science after having performed specific queries and filters, and results overall reveal a low maturity level of literature about Lean in ETO companies, although the number of papers in the last 13-year period demonstrates a growing interest towards this topic. Beyond the answer to the three Research Questions, the systematic literature review has also drawn out some gaps, thus forming a baseline for the real fruitful section of the dissertation: the empirical research methodology.

Notably, a multiple case study was performed to gather real-world evidence of Lean in the ETO competitive arena. A sample of eight companies belonging to the Italian machinery and equipment industry was selected, and semi-structured interviews were carried out. The heterogeneity of the sample in terms of company size, 2D-CODP positioning and other dimensions fostered the investigation and enabled high quality results. In details, as concerns the RQ1a, 28 out of 29 practices were implemented at least once in the sample, and simultaneously the *Workforce* bundle is the most implemented one. Particularly, *Standardized work* and *Customer involvement* are the two most implemented techniques, and some attributes, i.e. Theoretical basis, Large company and Structured Lean, seem to affect some practices implementations as well. Besides, the *Production planning and control* bundle is the one showing the most interesting ETO tailoring and atypical adoptions (RQ1b). About the RQ2, techniques registering the highest number of challenges are *Smoothed production* (6 challenges), *JIT delivery by suppliers* and *Pull production/Takt time calculation* (5 challenges each), while other ones have not even reported any difficulties. Interestingly, there seems to be some relationships between hurdles and the adoption degree of practices, while large companies are more likely to overcome challenges (i.e. implement partially or wholly the practice anyway) than SMEs, given the same difficulties encountered. Turning to the RQ3, aside from practices mainly aimed at reducing or managing variability, there is also a set of techniques with a mixed purpose (both management and reduction). Simultaneously, the *Production planning and control* and *Process technology* bundles are more aimed at reducing variability, whilst *Supplier*, *Customer* and *Workforce* mainly manages variability.

Alongside these findings, other important remarks and observations were made too, thus enhancing the quality of the whole thesis work. Nevertheless, a moderate matching between SLR results and case studies ones was registered, and the underlying reasons were properly disclosed.

Therefore, the research thesis leaves strategic and managerial insights for ETO companies, by suggesting them which lean techniques can be used in the ETO environment and how they can be tailored to the ETO context, as well as by revealing potential difficulties that might be encountered and variability purposes of such practices.

Either way, it is worth pointing out that case studies results have some limitations. First and foremost, the research sample is exclusively made up of companies belonging to the Italian machinery and equipment industry. And even though the eight case studies are well representative of this sector, it cannot be possible to generalize exhaustively the obtained results in the whole machinery industry firstly, and then in the broader ETO one. Indeed, the engineer to order scenario concerns a wide spectrum of sectors ranging from machinery to construction and from shipbuilding to aerospace. Moreover, one of the main issues experienced by leveraging semi-structured interviews is that answers could be biased by the questions themselves. Therefore, insights discovered might not totally reflect the pure reality of things. Contextually, about challenges faced by sample companies, speakers generally emphasized only those encountered for techniques anyway implemented, leaving out those preventing practices' adoption. As a result, techniques with a low application level should be investigated more deeply, since the missed introduction could just hide difficulties that companies were not able to overcome. For this purpose, it is suggested to target the origins of Lean implementation within companies.

Overall, results of the analysis are closely linked to the nature and numerosity of sample companies. Thereby, for a more general ETO extension, a broader and multi-sector sampling would be helpful. Additionally, it is worth recalling that also the Italian contextualization might be limiting, as the business environment is usually affected by industrial, economic and legislative factors. Indeed, it is uncertain whether ETO companies acting in foreign countries apply the same techniques or face the same problems. Finally, analysis was performed without investigating the effects of Lean upon companies' financial statements, precisely because the business welfare is measured above all in economic terms.

Future research could focus on comparing ETO applications in different sectors to seek a possible match between results obtained by machinery manufacturers and, for instance, construction companies (i.e. the sector showing the higher number of papers in the SLR). Any correspondences identified among multiple industries would make a given observation more generalizable to the entire ETO competitive arena. Moreover, possible correlations between the 2D-CODP positionings and lean practices might be investigated deeper. Finally, as mentioned before, a more in-depth analysis could target the economic results that Lean brings, thus quantifying benefits gained. And for this purpose, a monetary evaluation before and after Lean implementation could be really helpful.

Bibliography

BOOKS

Hines, P. and Taylor, D. (2000). *Going lean - A guide for implementation*, *Lean Enterprise Research Centre*.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 principles from the world's greatest manufacturer*, *McGraw-Hill Education*.

Ohno T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*, *Productivity Press*.

Porter, M. E. (1985). *The competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*, *New York: Free Press*.

Soliman, M. (2020). *Jidoka: The Toyota Principle of Building Quality into the Process*, *Independently published*.

Womack, J. P. and Jones, D. T. (2003). *Banish waste and create wealth in your corporation*, *New York: Free Press*.

Womack, J. P., Roos D. and Jones, D. T. (1990). *The machine that changed the world*, *Rawson Associates*.

Yin, R. K. (2013). *Case Study Research: Design and Methods (5th ed)*, *Sage Publications*

ARTICLES

Adrodegari, F., Bacchetti, A., Pinto, R., Pirola, F. and Zanardini, M. (2015) 'Engineer-to-order (ETO) production planning and control: An empirical framework for machinery-building companies', *Production Planning and Control*, 26(11), pp. 910-932. DOI: 10.1080/09537287.2014.1001808.

Amaro, G., Hendry, L. and Kingsman, B. (1999) 'Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies', *International Journal of Operations and Production Management*, 19(4), pp. 349-371. DOI: 10.1108/01443579910254213.

Andersen, L. and Fyhn, H. (2019) 'Organisational and cultural preconditions for extending the use of takt time planning', In *IGLC 2019 - Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 467-476. DOI: 10.24928/2019/0271.

- Aslesen, S., Reff, S. and Stordal, E. (2019) 'How long does it take to build an apartment?', In *IGLC 2019 - Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 1309-1320. DOI: 10.24928/2019/0236.
- Azadegan, A., Patel, P. C., Zangoueinezhad, A. and Linderman, K. (2013) 'The effect of environmental complexity and environmental dynamism on lean practices', *Journal of Operations Management*, 31(4), pp. 193-212. DOI: 10.1016/j.jom.2013.03.002.
- Bagni, G., Godinho Filho, M., Thürer, M. and Stevenson, M. (2020) 'Systematic review and discussion of production control systems that emerged between 1999 and 2018', *Production Planning and Control*, 32(7), pp. 511-525. DOI: 10.1080/09537287.2020.1742398.
- Bai, C., Satir, A. and Sarkis, J. (2019) 'Investing in lean manufacturing practices: An environmental and operational perspective', *International Journal of Production Research*, 57(4), pp. 1037-1051. DOI: 10.1080/00207543.2018.1498986.
- Bajjou, M. S., Chafi, A. and En-Nadi, A. (2017) 'A comparative study between lean construction and the traditional production system', *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, pp. 118-132. DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118.
- Bataglin, F. S., Viana, D. D., Formoso, C. T. and Bulhões, I. R. (2017) 'Application of BIM for supporting decision-making related to logistics in prefabricated building systems', In *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 71-78. DOI: 10.24928/2017/0278.
- Bataglin, F. S., Viana, D. D., Formoso, C. T. and Bulhões, I. R. (2020) 'Model for planning and controlling the delivery and assembly of engineer-to-order prefabricated building systems: Exploring synergies between Lean and BIM', *Canadian Journal of Civil Engineering*, 47(2), pp. 165-177. DOI: 10.1139/cjce-2018-0462.
- Bertolini, M. and Romagnoli, G. (2013) 'Lean manufacturing in the valve pre-assembly area of a bottling lines production plant: An Italian case study', In *IESM 2013 - Proceedings of 2013 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, pp. 1-8.
- Binninger, M., Dlouhy, J. and Haghsheno, S. (2017) 'Technical takt planning and takt control in construction', In *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 605-612. DOI: 10.24928/2017/0297.

- Birkie, S. E. and Trucco, P. (2016) 'Understanding dynamism and complexity factors in engineer-to-order and their influence on lean implementation strategy', *Production Planning and Control*, 27(5), pp. 345-359. DOI: 10.1080/09537287.2015.1127446.
- Birkie, S. E., Trucco, P. and Kaulio, M. (2017) 'Sustaining performance under operational turbulence: The role of lean in engineer-to-order operations', *International Journal of Lean Six Sigma*, 8(4), pp. 457-481. DOI: 10.1108/IJLSS-12-2016-0077.
- Böhme, T., Deakins, E., Pepper, M. and Towill, D. (2014) 'Systems engineering effective supply chain innovations', *International Journal of Production Research*, 52(21), pp. 6518-6537. DOI: 10.1080/00207543.2014.952790.
- Bortolini, R., Formoso, C. T. and Viana, D. D. (2019) 'Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modelling', *Automation in Construction*, 98, pp. 248-264. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.11.031.
- Bortolotti, T., Boscari, S. and Danese, P. (2015) 'Successful lean implementation: Organizational culture and soft lean practices', *International Journal of Production Economics*, 160, pp. 182-201. DOI: 10.1016/j.ijpe.2014.10.013.
- Bortolotti, T., Danese, P. and Romano, P. (2013) 'Assessing the impact of just-in-time on operational performance at varying degrees of repetitiveness', *International Journal of Production Research*, 51(4), pp. 1117-1130. DOI: 10.1080/00207543.2012.678403.
- Braglia, M., Dallasega, P. and Marrazzini, L. (2020) 'Overall construction productivity: A new lean metric to identify construction losses and analyse their causes in engineer-to-order construction supply chains', *Production Planning and Control*, pp. 1-18. DOI: 10.1080/09537287.2020.1837931.
- Braglia, M., Frosolini, M., Gallo, M. and Marrazzini, L. (2019a) 'Lean manufacturing tool in engineer-to-order environment: Project cost deployment', *International Journal of Production Research*, 57(6), pp. 1825-1839. DOI: 10.1080/00207543.2018.1508905.
- Braglia, M., Gabbrielli, R. and Marrazzini, L. (2019b) 'Overall task effectiveness: A new lean performance indicator in engineer-to-order environment', *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68(2), pp. 407-422. DOI: 10.1108/IJPPM-05-2018-0192.
- Breitenbach, F. A. and Ferreira, J. C. (2014) 'Application of lean manufacturing concepts and value stream mapping to a company that manufactures engineering to order road transportation products', In *FAIM 2014*

- *Proceedings of the 24th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: Capturing Competitive Advantage via Advanced Manufacturing and Enterprise Transformation*, pp. 583-590. DOI: 10.14809/faim.2014.0583.

Cannas, V. G., Gosling, J., Pero, M. and Rossi, T. (2019) 'Engineering and production decoupling configurations: An empirical study in the machinery industry', *International Journal of Production Economics*, 216, pp. 173-189. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.04.025.

Cannas, V. G., Gosling, J., Pero, M. and Rossi, T. (2020) 'Determinants for order-fulfilment strategies in engineer-to-order companies: Insights from the machinery industry', *International Journal of Production Economics*, 228, pp. 1-17. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107743.

Cannas, V. G., Pero, M., Pozzi, R. and Rossi, T. (2018) 'An empirical application of lean management techniques to support ETO design and production planning', *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 134-139. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.247.

Chouiraf, F. and Chafi, A. (2018) 'Adaptation of the value stream mapping (VSM) for the Moroccan artisanal enterprise', In *2018 IEEE - Proceedings of the 5th International Congress on Information Science and Technology (CiSt)*, pp. 1-6. DOI: 10.1109/CIST.2018.8596624.

Ciccullo, F., Pero, M., Caridi, M., Gosling, J. and Purvis, L. (2018) 'Integrating the environmental and social sustainability pillars into the lean and agile supply chain management paradigms: A literature review and future research directions', *Journal of Cleaner Production*, 172, pp. 2336-2350. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.176.

Cooney, R. (2002) 'Is "lean" a universal production system? Batch production in the automotive industry', *International Journal of Operations and Production Management*, 22(10), pp. 1130-1147. DOI: 10.1108/01443570210446342.

Cua, K. O., McKone, K. E. and Schroeder, R. G. (2001) 'Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance', *Journal of Operations Management*, 19(6), pp. 675-694. DOI: 10.1016/S0272-6963(01)00066-3.

Dallasega, P., Marcher, C., Marengo, E., Rauch, E., Matt, D. T. and Nutt, W. (2016). 'A decentralized and pull-based control loop for on-demand delivery in ETO construction supply chains', In *IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Conference for the International Group for Lean Construction*, 42, pp. 33-42.

- Dallasega, P. and Rauch, E. (2017) 'Sustainable construction supply chains through synchronized production planning and control in engineer-to-order enterprises', *Sustainability*, 9(10), pp. 1-25. DOI: 10.3390/su9101888.
- Dallasega, P., Rauch, E. and Frosolini, M. (2018) 'A lean approach for real-time planning and monitoring in engineer-to-order construction projects', *Buildings*, 8(3), pp. 1-22. DOI: 10.3390/buildings8030038.
- Dallasega, P., Rauch, E., Matt, D. T. and Fronk, A. (2015) 'Increasing productivity in ETO construction projects through a lean methodology for demand predictability', In *IEOM 2015 - Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 1-11. DOI: 10.1109/IEOM.2015.7093734.
- Dallasega, P., Revolti, A., Follini, C., Schimanski, C. P. and Matt, D. T. (2019) 'BIM-based construction progress measurement of non-repetitive HVAC installation works', In *IGLC 2019 - Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 819-830. DOI: 10.24928/2019/0152.
- Dekkers, R. (2006) 'Engineering management and the order entry point', *International Journal of Production Research*, 44(18), pp. 4011-4025. DOI: 10.1080/00207540600696328.
- Djassemi, M. (2014) 'Lean adoption in small manufacturing shops: Attributes and challenges', *Journal of Technology, Management and Applied Engineering*, 30(1), pp. 2-10.
- Doolen, T. L. and Hacker, M. E. (2005) 'A review of lean assessment in organizations: An exploratory study of lean practices by electronics manufacturers', *Journal of Manufacturing Systems*, 24(1), pp. 55-67. DOI: 10.1016/S0278-6125(05)80007-X.
- Duncan, R. B. (1972) 'Characteristics of organizational environments and perceived environmental uncertainty', *Administrative Science Quarterly*, 17(3), pp. 313-327. DOI: 10.2307/2392145.
- Emiliani, M. L. and Emiliani, M. (2013) 'Music as a framework to better understand Lean leadership', *Leadership and Organization Development Journal*, 34(5), pp. 407-426. DOI: 10.1108/LODJ-11-0088.
- Eriksson, P. E. (2010) 'Improving construction supply chain collaboration and performance: A Lean construction pilot project', *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), pp. 394-403. DOI: 10.1108/13598541011068323.
- Falleti, T. G. (2016) 'Process tracing of extensive and intensive processes', *New Political Economy*, 21(5), pp. 455-462. DOI: 10.1080/13563467.2015.1135550.

- Faloughi, M., Linnik, M., Murphy, D. and Frandson, A. G. (2015) 'WIP design in a construction project using takt time planning', In *IGLC 2015 - Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions*, pp. 163-172.
- Fazinga, W. R., Saffaro, F. A., Isatto, E. L. and Kremer, A. (2016) 'Difficulties in work design in the construction sector', In *IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 13-22.
- Forsman, S., Björngrim, N., Bystedt, A., Laitila, L., Bomark, P and Öhman, M. (2012) 'Need for innovation in supplying engineer-to-order joinery products to construction: A case study in Sweden', *Construction Innovation*, 12(4), pp. 464–491. DOI:10.1108/14714171211272225.
- Fullerton, R. R., Kennedy, F. A. and Widener, S. K. (2014) 'Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices', *Journal of Operations Management*, 32(7-8), pp. 414-428. DOI: 10.1016/j.jom.2014.09.002.
- Furlan, A., Vinelli, A. and Dal Pont, G. (2011) 'Complementarity and lean manufacturing bundles: An empirical analysis', *International Journal of Operations and Production Management*, 31(8), pp. 835-850. DOI: 10.1108/01443571111153067.
- Giesberts, P. M. and Tang, L. V. D. (1992) 'Dynamics of the customer order decoupling point: Impact on information systems for production control', *Production Planning and Control*, 3(3), pp. 300-313. DOI: doi.org/10.1080/09537289208919402.
- González, V., Alarcón, L. F. and Mundaca, F. (2008) 'Investigating the relationship between planning reliability and project performance', *Production Planning and Control*, 19(5), pp. 461-474. DOI: 10.1080/09537280802059023.
- Gosling, J. and Naim, M. M. (2009) 'Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda', *International Journal of Production Economics*, 122(2), pp. 741-754. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.07.002.
- Gupta, S. and Jain, S. K. (2013) 'A literature review of lean manufacturing', *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), pp. 241-249. DOI: 10.1080/17509653.2013.825074.
- Hannan, M. T. and Freeman, J. (1984) 'Structural Inertia and Organizational Change', *American Sociological Review*, 49(2), pp. 149-164. DOI: 10.2307/2095567.

- Heath, A. W. (1997) 'The proposal in qualitative research', *The Qualitative Report*, 3(1), pp. 1-4.
- Hines, P., Holweg, M. and Rich, N. (2004) 'Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking', *International Journal of Operations and Production Management*, 24(10), pp. 994-1011. DOI: 10.1108/01443570410558049.
- Hopp, W. J. and Spearman, M. L. (2004) 'To pull or not to pull: What is the question?', *Manufacturing and Service Operations Management*, 6(2), pp. 133-148. DOI: 10.1287/msom.1030.0028.
- Howell, G. A., Ballard, G. and Tommelein, I. (2011) 'Construction engineering: Reinvigorating the discipline', *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10), pp. 740-744. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000276.
- Huang, G., Chen, J. and Khojasteh, Y. (2020) 'A cyber-physical system deployment based on pull strategies for one-of-a-kind production with limited resources', *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32, pp. 579-596. DOI: 10.1007/s10845-020-01589-8.
- Hussain, A., Munive-Hernandez, J. E. and Campean, I. F. (2020) 'Lean approach in a high mix, low volume manufacturing environment - case study', In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 837-844.
- Javadian Kootanaee, A., Babu, K. N. and Talari, H. (2013) 'Just-in-time manufacturing system: From introduction to implement', *International Journal of Economics, Business and Finance*, 1(2), pp. 7-25. DOI: 10.2139/ssrn.2253243.
- Jünge, G. H., Alfnes, E., Kjersem, K. and Andersen, B. (2019) 'Lean project planning and control: Empirical investigation of ETO projects', *International Journal of Managing Projects in Business*, 12(4), pp. 1120-1145. DOI: 10.1108/IJMPB-08-2018-0170.
- Kalsaas, B. T., Bonnier, K. E. and Ose, A. O. (2016) 'Towards a model for planning and controlling ETO design projects', In *IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 33-42.
- Kjersem, K., Halse, L. L., Kiekebos, P. and Emblemståg, J. (2015) 'Implementing lean in engineer-to-order industry: A case study', In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, pp. 248-255. DOI: 10.1007/978-3-319-22759-7_29.

Kjersem, K. and Jünge, G. H. (2016) 'Improving planning process for ETO-projects: A case study', In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, pp. 927-934. DOI: 10.1007/978-3-319-51133-7_109.

Koskela, L., Howell, G., Ballard, G. and Tommelein, I. (2002) 'The foundations of lean construction', *Design and construction: Building in value*, pp. 211-226.

Lennartsson, M. and Elgh, F. (2018) 'Exploring product development in industrialized housing to facilitate a platform strategy', In *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, pp. 538-548. DOI: 10.24928/2018/0283.

Li, P., Jiang, P. and Zhang, G. (2019) 'An enhanced DMAIC method for feature-driven continuous quality improvement for multi-stage machining processes in one-of-a-kind and small-batch production', *IEEE Access*, 7, pp. 32492-32503. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2900461.

Liker, J. K. and Morgan, J. (2011) 'Lean product development as a system: A case study of body and stamping development at Ford', *Engineering Management Journal*, 23(1), pp. 16-28. DOI: 10.1080/10429247.2011.11431884.

Matt, D. T. (2014) 'Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems: A case study', *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(3), pp. 334-350. DOI: 10.1108/JMTM-05-2012-0054.

Matt, D. T., Dallasega, P. and Rauch, E. (2014) 'Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies', *Procedia CIRP*, 17, pp. 457-462. DOI: 10.1016/j.procir.2014.01.058.

McCutcheon, D. M., Raturi, A. S. and Meredith, J. R. (1994) 'The customization-responsiveness squeeze', *MIT Sloan Management Review*, 35(2), pp. 89-100.

McGovern, T. O. M., Hicks, C. and Earl, C. F. (1999) 'Modelling supply chain management processes in engineer-to-order companies', *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 2(2), pp. 147-159. DOI: 10.1080/13675569908901578.

McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R. and Owen, G. W. (2000) 'A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology', *International Journal of Production Research*, 38(11), pp. 2377-2395. DOI: 10.1080/00207540050031823.

- Mongeon, P. and Paul-Hus, A. (2016) 'The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis', *Scientometrics*, 106(1), pp. 213-228. DOI: 10.1007/s11192-015-1765-5.
- Murguía, D. and Urbina, A. (2018) 'Complex production systems: Non-linear and non-repetitive projects', In *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, pp. 858-868. DOI: 10.24928/2018/0222.
- Olhager, J. (2003) 'Strategic positioning of the order penetration point', *International Journal of Production Economics*, 85(3), pp. 319-329. DOI: 10.1016/S0925-5273(03)00119-1.
- Olhager, J. (2010) 'The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management', *Computers in industry*, 61(9), pp. 863-868. DOI: 10.1016/j.compind.2010.07.011.
- Panizzolo, R. (1998) 'Applying the lessons learned from 27 lean manufacturers: The relevance of relationships management', *International Journal of Production Economics*, 55(3), pp. 223-240. DOI: 10.1016/S0925-5273(98)00066-8.
- Peñaloza, G. A., Viana, D. D., Bataglin, F. S., Formoso, C. T. and Bulhões, I. R. (2016) 'Guidelines for integrated production control in engineer-to-order prefabricated concrete building systems: Preliminary results', In *IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 103-112.
- Pettersen, J. (2009) 'Defining lean production: Some conceptual and practical issues', *The TQM Journal*, 21(2), pp. 127-142. DOI: 10.1108/17542730910938137.
- Pittway, L. (2008) 'Systematic literature reviews', In (Thorpe, R. and Holt, R.) *The SAGE dictionary of qualitative management research*. DOI:10.4135/9780857020109.
- Powell, D. J. (2018) 'Kanban for lean production in high mix, low volume environments', *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 140-143. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.248.
- Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G. and Rossi, M. (2014) 'A new set of principles for pursuing the lean ideal in engineer-to-order manufacturers', *Procedia CIRP*, 17, pp. 571-576. DOI: 10.1016/j.procir.2014.01.137.
- Prashar, A. (2014) 'Redesigning an assembly line through Lean-Kaizen: An Indian case', *The TQM Journal*, 26(5), pp. 475-498. DOI: 10.1108/TQM-04-2013-0054.

Raghavan, V. A., Yoon, S. and Srihari, K. (2014) 'Lean transformation in a high mix low volume electronics assembly environment', *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(4), pp. 342-360. DOI: 10.1108/IJLSS-07-2013-0042.

Rauch, E., Dallasega, P. and Matt, D. T. (2015) 'Synchronization of engineering, manufacturing and on-site installation in lean ETO-enterprises', *Procedia CIRP*, 37, pp. 128-133. DOI: 10.1016/j.procir.2015.08.047.

Saurin, T. A., Marodin, G. A. and Ribeiro, J. L. D. (2011) 'A framework for assessing the use of lean production practices in manufacturing cells', *International Journal of Production Research*, 49(11), pp. 3211-3230. DOI: 10.1080/00207543.2010.482567.

Scherrer-Rathje, M., Boyle, T. A. and Deflorin, P. (2009) 'Lean, take two! Reflections from the second attempt at lean implementation', *Business horizons*, 52(1), pp. 79-88. DOI: 10.1016/j.bushor.2008.08.004.

Seth, D., Seth, N. and Dhariwal, P. (2017) 'Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: A case study', *Production Planning and Control*, 28(5), pp. 398-419. DOI: 10.1080/09537287.2017.1300352.

Seuring, S. and Müller, M. (2008) 'From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management', *Journal of Cleaner Production*, 16(15), pp. 1699-1710. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.04.020.

Sezen, B., Karakadilar, I. S. and Buyukozkan, G. (2012), 'Proposition of a model for measuring adherence to lean practices: Applied to Turkish automotive part suppliers', *International Journal of Production Research*, 50(14), pp. 3878-3894. DOI: 10.1080/00207543.2011.603372.

Shah, R., Chandrasekaran, A. and Linderman, K. (2008) 'In pursuit of implementation patterns: The context of lean and six sigma', *International Journal of Production Research*, 46(23), pp. 6679-6699. DOI: 10.1080/00207540802230504.

Shah, R. and Ward, P. T. (2003) 'Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance', *Journal of Operations Management*, 21(2), pp. 129-149. DOI: 10.1016/S0272-6963(02)00108-0.

Shah, R. and Ward, P. T. (2007) 'Defining and developing measures of lean production', *Journal of Operations Management*, 25(4), pp. 785-805. DOI: 10.1016/j.jom.2007.01.019.

Sharman, G. (1984) 'The rediscovery of logistics', *Harvard business review*, 62(5), pp. 71-79.

Sisson, J. and Elshennawy, A. (2015) 'Achieving success with Lean: An analysis of key factors in Lean transformation at Toyota and beyond', *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(3), pp. 263-280. DOI: 10.1108/IJLSS-07-2014-0024.

Slomp, J., Bokhorst, J. A. and Germs, R. (2009) 'A lean production control system for high-variety/low-volume environments: A case study implementation', *Production Planning and Control*, 20(7), pp. 586-595. DOI: 10.1080/09537280903086164.

Stechert, C., Scheck, V. and Fischer, C. (2019) 'Launching lean product development at an rail vehicle manufacturer', *Procedia CIRP*, 84, pp. 179-184. DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.306.

Strandhagen, J. W., Vallandingham, L. R., Alfnes, E. and Strandhagen, J. O. (2018) 'Operationalizing lean principles for lead time reduction in engineer-to-order (ETO) operations: A case study', *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 128-133. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.246.

Sunk, A., Kuhlmann, P., Edtmayr, T. and Sihn, W. (2017) 'Developments of traditional value stream mapping to enhance personal and organisational system and methods competencies', *International Journal of Production Research*, 55(13), pp. 3732-3746. DOI: 10.1080/00207543.2016.1272764.

Thajudeen, S., Lennartsson, M. and Elgh, F. (2018) 'Impact on the design phase of industrial housing when applying a product platform approach', In *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, pp. 527-537. DOI: 10.24928/2018/0281.

Thomassen, M. K., Alfnes, E. and Gran, E. (2015) 'A new value stream mapping approach for engineer-to-order production systems', In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, pp. 207-214. DOI: 10.1007/978-3-319-22759-7_24.

Thürer, M., Tomašević, I., Stevenson, M., Blome, C., Melnyk, S., Chan, H. K and Huang, G. Q. (2019) 'A systematic review of China's belt and road initiative: Implications for global supply chain management', *International Journal of Production Research*, 58(8), pp. 2436-2453. DOI: 10.1080/00207543.2019.1605225.

Tillmann, P., Viana, D., Sargent, Z., Tommelein, I. and Formoso, C. (2015) 'BIM and Lean in the design production interface of ETO components in complex projects', In *IGLC 2015 - Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions*, pp. 331-340.

Tomašević, I., Slović, D. and Stojanović, D. (2016) 'Improving efficiency of engineer-to-order operations through lean Implementation: Empirical research', *Symorg 2016*, pp. 1036-1044.

Tomašević, I., Stojanović, D., Slović, D., Simeunović, B. and Jovanović, I. (2020) 'Lean in high-mix/low-volume industry: A systematic literature review', *Production Planning and Control*, pp. 1-16. DOI: 10.1080/09537287.2020.1782094.

Tommelein, I. D. (2017) 'Collaborative takt time planning of non-repetitive work', In *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 745-752. DOI: 10.24928/2017/0271.

Tranfield, D., Denyer, D. and Smart, P. (2003) 'Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review', *British Journal of Management*, 14(3), pp. 207-222. DOI: 10.1111/1467-8551.00375.

Trevisan, G., Viana, D. and Formoso, C. (2016) 'Role of loading plans in the control of work in progress for engineer-to-order prefabricated building systems', In *IGLC 2016 - Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 83-92.

Ulonska, S., Welo, T. and Rølvåg, T. (2018) 'Leanification of the engineering process for customized road safety products', In *DESIGN 2018 - Proceedings of the 15th International Design Conference*, pp. 487-498. DOI: 10.21278/idc.2018.0352.

Varl, M., Duhovnik, J. and Tavčar, J. (2020a) 'Application of lean methods into the customised product development process of large power transformers', *Tehnički Vjesnik*, 27(1), pp. 276-282. DOI: 10.17559/TV-20191117223600.

Varl, M., Duhovnik, J. and Tavčar, J. (2020b) 'Customized product development supported by integrated information', *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 12, pp. 544-553. DOI: 10.3233/ATDE200115.

Veldman, J. and Alblas, A. (2012) 'Managing design variety, process variety and engineering change: A case study of two capital good firms', *Research in Engineering Design*, 23(4), pp. 269-290. DOI: 10.1007/s00163-012-0135-z.

Viana, D. D., Bulhões, I. R. and Formoso, C. T. (2013) 'Guidelines for integrated planning and control of engineer-to-order prefabrication systems', In *IGLC 2013 - Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 549-558.

- Viana, D., Formoso, C. T., Wesz, J. and Tzortzopoulos, P. (2014) 'The role of visual management in collaborative integrated planning and control for engineer-to-order building systems', In *IGLC 2014 - Proceedings of the 22nd Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production*, 2, pp. 775-786.
- Viana, D., Tillmann, P., Sargent, Z., Tommelein, I. and Formoso, C. (2015) 'Analysis of HVAC subcontractor mechanisms for JIT materials supply to a construction site', In *IGLC 2015 - Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Global Knowledge - Global Solutions*, pp. 246-255.
- Viana, D. D., Tommelein, I. D. and Formoso, C. T. (2017) 'Using modularity to reduce complexity of industrialized building systems for mass customization', *Energies*, 10(10), pp. 1-17. DOI: 10.3390/en10101622.
- Villar-Fidalgo, L., Espinosa Escudero, M. D. M. and Domínguez Somonte, M. (2019) 'Applying kaizen to the schedule in a concurrent environment', *Production Planning and Control*, 30(8), pp. 624-638. DOI: 10.1080/09537287.2019.1566281.
- Vom Brocke, J., Simons, A., Niehaves, B., Riemer, K., Plattfaut, R. and Cleven, A. (2009) 'Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process', In *Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems (ECIS)*, 9, pp. 2206-2217.
- Votto, R. G. and Fernandes, F. C. F. (2014) 'Lean production and theory of constraints: Proposal of a method for joint implementation in the engineer-to-order capital goods industry', *Gestão and Produção*, 21(1), pp. 45-63. DOI: 10.1590/S0104-530X2013005000009.
- Wikner, J. and Rudberg, M. (2005) 'Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point', *International Journal of Operations and Production Management*, 25(7), pp. 623-641. DOI: 10.1108/01443570510605072.
- Womack, J. P. and Jones, D. T. (1996) 'Beyond Toyota: How to root out waste and pursue perfection', *Harvard Business Review*, 74(5), pp. 140-151.
- Wortmann, J. C. (1983) 'A classification scheme for master production scheduling', *Efficiency of Manufacturing Systems*, pp. 101-109. DOI: 10.1007/978-1-4684-4475-9_10.

Xiong, G., Zhao, A., Nyberg, T. R. and Xiong, G. (2016) 'Change management on improvement project for success', In *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, pp. 53-59. DOI: 10.1109/SOLI.2016.7551661.

Yin, R. K. (1981) 'The case study as a serious research strategy', *Science Communication*, 3(1), pp. 97-114. DOI: 10.1177/107554708100300106.

Yin, D. and Ming, X. (2016) 'A modular approach for lean product development (LPD) based on system engineering', In *Proceedings of the 13th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, pp. 171-182. DOI: 10.1007/978-3-319-54660-5_16.

Zhou, J., Zhang, Q., Wang, X. and Xiao, H. (2016) 'Lean system design for engineer-to-order manufacturing', *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 21(6), pp. 702-712. DOI: 10.1007/s12204-016-1784-2.

Other sources:

European SMEs definition at: https://ec.europa.eu/growth/smes/sme-definition_en

Lean Enterprise Institute images at: <https://www.lean.org>

Federmacchine data and statements at: <https://www.federmacchine.it/home/>

Annex

- o Color code for practices

Lean Production Practice	Green conditions	Yellow conditions	Red conditions	Blue conditions
Feedback to suppliers	structured feedback system	not-structured feedback system	feedback absence	on-going developments
JIT delivery by suppliers	most of components	standard and low-value components	JIT absence	on-going developments
Supplier involvement in design	frequent involvement of core suppliers	rare involvement	no involvement	on-going developments
Lean supplier development	all suppliers	some suppliers	no suppliers	on-going developments
Pull production/Takt time calculation	operative use of takt time and kanban	partial operative use of takt time and kanban	neither takt time nor kanban	on-going developments
Setup reduction	frequent concerning activities	rare and not-structured activities	activities absence	on-going developments
Smoothed (levelled) production (heijunka)	lean tools adoption (Heijunka box)	not-typical lean tools	levelling absence	on-going developments
Total Productive Maintenance	total implementation	partial implementation	absent	on-going developments
Visual management of production control	presence of one or more visual management tools		tools absence	on-going developments
Feedback on performance metrics	structured system	not structured system	monitoring absence	on-going developments
Total Quality Management	systematic approach	not-systematic approach	absent	on-going developments
Statistical process control	presence of statistical tools		absence of statistical tools	on-going developments
Root cause analysis for problem solving	presence of structured applications/techniques	presence of not structured applications/techniques	absence of applications/techniques	on-going developments
Visual management of quality control	presence of one or more visual management tools		tools absence	on-going developments

Autonomation (Jidoka)	widespread	limited adoption	absent	on-going developments
Continuous flow (one-piece-flow)	widespread implementation	partial implementation	absent	on-going developments
Cellular manufacturing, Layout size and shape	total product-oriented layout (i.e. lines)	partial product-oriented layout (i.e. job shop for components and assembly lines)	Not-product-oriented layout (i.e. fixed assembly stations)	on-going developments
Concurrent engineering	frequent and/or formalised	infrequent and/or not formalised	absent	on-going developments
Parts standardization/modularisation, design for manufacturability	widespread application	moderate application	absent	on-going developments
Visibility and information exchange	high process visibility and/or wide information sharing	partial process visibility and/or limited information sharing	process visibility and information sharing absence	on-going developments
Process improvement/ Kaizen	structured techniques	Not-structured techniques	absence of a continuous improvement approach	on-going developments
Value identification	current use of tools	previous usage of tools	tools absence	on-going developments
Teamwork and leadership	implemented		absent	on-going developments
Multi-functionality and cross-training	Widely implemented	Infrequent or usage limited to few production areas	absent	on-going development
Workforce recognition and reward	awards for single workers	organizational awards	awards absence	on-going developments
Continuous improvement	frequent	rare	absent	on-going developments
Workplace housekeeping	formalised	not-formalised	absent	on-going developments
Standardized work	implemented		absent	on-going developments
Customer involvement	the practice is intrinsically implemented in ETO companies			

o Sentences (extracted from interviews) justifying 2D-CODP positionings

	CODP positioning [Engineering axis]	CODP positioning [Production axis]
Company 1	<p>Major changes</p> <p>“Da noi la customizzazione c’è sempre, perciò direi che siamo a metà tra un Major changes e Minor changes” “La base per tutti è prodotti è sempre quella. È l’accessorio o la configurazione che cambia. Per la configurazione abbiamo un catalogo prodotti che copre gran parte delle configurazioni, mentre l’accessorio cambia molto”.</p>	<p>Make to order</p> <p>“Ad oggi siamo sul Make to order”</p>
Company 2	<p>Major changes</p> <p>“C’è un catalogo che definisce i macchinari, il tipo di processo che supportano, le performance che garantiscono e poi c’è la personalizzazione a livello impiantistico sulle performance specifiche del cliente in base anche al materiale specifico. Il layout macchina si basa su un 20% di personalizzazione, che è la parte che fornisce le prestazioni. Contro l'80% che invece è quello che noi definiamo il primitivo macchina”.</p>	<p>Make to order</p> <p>“Una volta acquisito l’ordine e fatto un briefing di lancio commessa, quindi i macchinari in gioco, se sono macchinari customizzati sappiamo che il primitivo macchina su cui poi nello specifico c’è tutta una serie di personalizzazioni possiamo già lanciarlo in pianificazione”.</p>
Company 3	<p>Major changes</p> <p>“Un altro punto di forza è senza dubbio il fatto che il cliente si rivolge a noi per la realizzazione di macchine totalmente ad hoc. Il livello di personalizzazione che forniamo è quindi molto elevato. Nei mercati del 2008, questo livello di customizzazione era impensabile perché lì le macchine erano tutte uguali. Al giorno d’oggi, invece, ogni cliente vuole qualcosa di speciale e da noi questo “qualcosa di speciale” lo trova”.</p>	<p>Finalize</p> <p>“Dopo l’ordine cliente, invece, il nostro sistema produttivo riguarda la messa assieme dei “gruppi” di componenti che già abbiamo predisposto. In contemporanea, poi, c’è la parte di progettazione (ETO) per tutte le richieste ad hoc”.</p>
Company 4	<p>Design</p> <p>“Non è il cliente che decide la soluzione e la configurazione dell’impianto ma il cliente ci pone le sue problematiche. ci danno degli elementi a livello produttivo e su questi noi dobbiamo formulare un’offerta. quindi per rispondere era la direzione ma non lo possiamo vedere come delle macchine, se faccio paragoni con le automobili, si ha un’automobile poi ci sono tanti optional che il cliente ci dice gli optional. Più che altro noi cerchiamo di fare un’analisi del loro fabbisogno e gli configuriamo la soluzione”.</p>	<p>Finalize</p> <p>“Ci sono impianti per cui i componenti che hai già in magazzino contano per il 50% della commessa. In altri invece contano l'80%”.</p>

Company 5	<p style="text-align: center;">Minor changes</p> <p>“Ci sono due livelli di customizzazione: bassa customizzazione, quando per esempio viene richiesta una soglia leggermente più piccola o leggermente più grande rispetto allo standard. Si tratta quindi di semplici modifiche dove cambia uno o pochi componenti. Oppure il livello di customizzazione può essere più elevato e dunque prevedere un parziale ri-design del prodotto standard. Parallelamente a queste customizzazioni, è presente il vero e proprio custom, ossia prodotti completamente ad hoc gestiti con un approccio project-based. In questi casi speciali non esiste standardizzazione, il manufatto è uno solo. In numero di pezzi prodotti circa il 3/5% della produzione sono project-based. Poi, circa il 45% è standard e il restante 50% della produzione che rimane è standard customizzato”.</p>	<p style="text-align: center;">Make to order</p> <p>“Noi produciamo proprio su commessa, anche lo standard. Non facciamo stock e produciamo in sequenza con il throughput time prestabilito, in modo da rispettare la richiesta di delivery data al cliente in fase di offerta. La pianificazione della produzione viene poi fatta con una visibilità di circa due settimane. Le politiche di material management sono diverse e noi le utilizziamo tutte. Per esempio, facciamo sourcing su commessa, ovvero arriva una commessa e noi ordiniamo sia il componente ad hoc che quelli standard, i quali vengono forniti dai nostri fornitori direttamente a Kanban. Ci sono poi ordini speciali rispetto a prodotti che normalmente produciamo internamente e che infatti sono impostati sul nostro ERP come ordine di produzione e non come ordine di acquisto”.</p>
Company 6	<p style="text-align: center;">Minor changes</p> <p>“Noi abbiamo un catalogo prodotti con una specifica tecnica di base. Poi, a seconda del modello, ci sono delle personalizzazioni più o meno invasive. Mediamente, più di metà delle richieste passano dagli uffici tecnici in quanto presuppongono specifiche opzioni o personalizzazioni”.</p>	<p style="text-align: center;">Finalize</p> <p>“Noi acquistiamo tutto, quindi non abbiamo lavorazioni meccaniche interne”.</p>
Company 7	<p style="text-align: center;">Design</p> <p>“Il 50% rappresenta una media delle situazioni in cui l'engineering è coinvolto. In realtà, di fatto, è coinvolto molto di più, e potremmo anche salire al 70%. Il 50% è dato dalla magnitudo, nel senso che ci sono casi in cui c'è un altissimo coinvolgimento dell'engineering a situazioni in cui semplicemente bisogna cambiare il colore. La variabilità è enorme perché noi abbiamo tantissimi sbocchi di mercato. Tutte le possibili combinazioni confluiscono in centinaia di combinazioni di prodotti, ma ci sono anche clienti ripetitivi per cui, una volta trovata e formalizzata la soluzione, l'apporto dell'engineering è minimo”.</p>	<p style="text-align: center;">Finalize</p> <p>“Dei circa 4500 codici kanban considerate che in media il 50% può essere anticipato”.</p>
Company 8	<p style="text-align: center;">Minor changes</p> <p>“Abbiamo diverse famiglie di impianto: manipolatori a fune e manipolatori rigidi. All'interno di questi ci sono tante tipologie di modelli che tendono a rispondere alle reali esigenze del cliente di differente natura di movimentazione. In ogni modello la parte modificabile è in generale la parte terminale, ovvero l'end effector”.</p>	<p style="text-align: center;">Make to order</p> <p>“Quindi diciamo che quando arriva l'ordine cliente noi abbiamo un configuratore di prodotto con il quale il commerciale definisce che modello vuole, che taglia vuole, che lunghezza vuole, dice un po' che cosa vuole; per la parte modularizzata chiaramente configurando l'oggetto abbiamo subito una distinta, abbiamo subito degli ordini di produzione e i fabbisogni che si impegnano di materiali e quant'altro; per la parte invece legata all'end effector abbiamo un elenco di funzioni che vuole il cliente”.</p>

- Questionnaire (*Italiano*)

Introductive questions

- Introduzione all'azienda: dimensioni (fatturato, numero dipendenti), settore e mercato (competitors e clienti)
- Introduzione all'intervistato: ruolo, anni di esperienza
- Com'è organizzato e come si articola il vostro portafoglio prodotti?
- Quali sono le fasi principali della vostra supply chain?
- Per quanto riguarda la produzione, quali e quanti impianti produttivi utilizzate?

Lean assessment

- Quali motivazioni hanno portato all'adozione delle pratiche lean?
- A quando risale l'avvio dell'implementazione delle pratiche lean?
- Quali pratiche lean, in particolare, sono state implementate per gestire il rapporto con i fornitori?
- Quali pratiche lean, in particolare, sono state implementate per pianificare e controllare i processi produttivi/di progettazione e sviluppo prodotto?
- Quali pratiche lean, in particolare, sono state implementate per supportare l'esecuzione dei processi produttivi/di progettazione e sviluppo prodotto?
- Quali pratiche lean, in particolare, sono state implementate per gestire le risorse umane?
- Quali pratiche lean, in particolare, sono state implementate per gestire il rapporto con i clienti?

Final analysis

- Quali sono state le principali difficoltà incontrate nell'implementazione delle pratiche lean?
- Le pratiche implementate supportano la gestione o la riduzione della variabilità?
- Tutte le pratiche hanno raggiunto i risultati attesi o può essere identificata qualche pratica che ha riscontrato minore successo? Se sì, quali sono? Sono legate a qualche specifico processo?
- Ci sono state pratiche che avevate pianificato di introdurre e che non siete stati in grado di implementare? Se sì, quali? Come la forza lavoro ha reagito all'introduzione delle pratiche lean? Le persone sono state formate sui principi e sulle pratiche lean in vista della loro implementazione? Com'è avvenuto il coinvolgimento delle persone?
- Il processo di progettazione e sviluppo prodotto ha subito modifiche per meglio adattarsi alle pratiche lean implementate nei processi produttivi?

○ Case studies' transcript (in Italian)

Transcripts were written by leveraging on the vocal registrations of interviews. Moreover, slang words and colloquialisms were changed or removed in order to enhance the speech flow, and this was obviously done without modifying the underlying meaning.

Case study 1

- Interviewers = Saverio Albanese and Amedeo Pellegrini
- Referent = Production Manager
- Date: 06/07/2021
- Recording time: 69' 31''
- Modality: on site interview

Come introduzione, chi sono i vostri competitor? Cosa vi differenzia da loro? Chi sono i principali clienti?

Come mercato abbiamo circa il 70% estero e 30% Italia, mentre i competitors principali sono CMA e Pistorio, due marchi di proprietà a maggioranza cinese. Ciò che ci differenzia da loro è proprio il marchio "Made In Italy": siamo infatti certificati che il nostro prodotto sia totalmente italiano. L'unica cosa che non è italiana è l'automazione, ma essendo realizzata in Germania, dove gli standard qualitativi sono alti, ci viene comunque riconosciuto il "Made In Italy". I principali clienti (i più grossi) sono Mata (un gruppo che vernicia i motori Tesla), Electrolux, Luxottica, Elica e Faber (che producono cappe), SAV, Leonardo, Azimut, Bticino e Vitrea.

Com'è strutturato il vostro portafoglio prodotti?

XXX fornisce XXX Lebot a 5 o 6 assi. Le richieste sono per il 95% sei assi (più versatile) e 5% cinque assi. A questo associamo le opzioni, che possono essere per esempio la "versione G": il robot ruota di 360°, mentre il tipico robot ha un raggio limitato di circa 200°. Abbiamo anche la versione con carosello, con carro ponte e altre personalizzazioni. Per quanto riguarda i quadri abbiamo 3 tipologie: XXX Lecrob Standard che è associato al robot standard, XXX Lecrob Manager per le versioni più personalizzate e Lecrob K Manager per le applicazioni con Kuka. Abbiamo quindi tre macroaree distinte e a seconda del prodotto base decidiamo poi quale configurazione usare. Possiamo anche vendere pacchetti aggiuntivi come la configurazione "follow me", con cui il carro segue l'operatore durante la verniciatura. Una volta definita la base andiamo a definire la configurazione, quindi robot a soffitto o robot a terra, se ha un carro aereo, un carro a terra o una giostra. Terminata la configurazione si definisce l'accessorio, ovvero lo scanner, il laser, l'anticollisione, ecc. Questo per quanto riguarda i robot. Poi abbiamo altre quattro tipologie di prodotti, ovvero la spazzola per la pulizia delle pistole, la coda, dei girapezzi esterni, un sistema di tag per l'identificazione del pezzo e una

configurazione software. Per concludere, abbiamo i sistemi di sicurezza per i nostri impianti, come il blocco porta, le barriere laser o le classiche reti metalliche. A seconda del paese di vendita, inoltre, andiamo a certificare il prodotto. Perciò può richiedere uno standard CE, standard UL (sudamericano) o standard UE ATEX.

Nel momento dell'ordine, mostrate il catalogo al cliente?

Sì, il commerciale utilizza una mappa così da selezionare in modo standard e più velocemente il prodotto. Abbiamo però anche un venditore polacco che gestisce le vendite "a modo suo", ed è quindi poi difficile cercare di capire cosa ha venduto. La mappa, ad ogni modo, serve a garantire la fattibilità del prodotto ma ad oggi, purtroppo, è poco utilizzata.

Noi vorremmo capire come vi posizionate all'interno dell'Engineer to order. L'ETO è un mondo molto grande e quello che cerchiamo di fare è eseguire una classificazione a due assi. Il primo asse è quello della produzione, ovvero le attività che possono essere svolte su previsione o su ordine: acquisti, produzione, finalizzazione, assemblaggio e consegna. Voi come siete posizionati in questo asse?

Ad oggi siamo sul Make to order.

Quindi voi fate produrre tutto all'esterno e poi assemblate. Questi fornitori esterni producono solo dopo che vi arriva un ordine?

No, attualmente, in ottica di ridurre i costi, stiamo facendo degli ordini aperti. Così facendo, il costo del fornitore diminuisce e abbiamo una consegna con lead time standard.

Dunque il fornitore si impegna a ridurre i tempi di consegna?

Sì, cerca di ridurre il costo e a consegnare nei tempi prefissati.

Ad ogni modo voi prelevate dal fornitore una volta arrivato l'ordine? Non avete niente a stock?

Esatto, ma ci stiamo evolvendo per avere un minimo di scorta. I competitors attualmente lavorano con consegna di 30/40 giorni e così come stiamo operando non riusciamo a tenere questi ritmi. Stiamo dunque cercando di produrre il robot fino ad un punto, e di lasciare alla fine la parte customizzata: così facendo creiamo un minimo stock. E già un mese e mezzo che ci proviamo, ma le richieste continuano ad arrivare, lo stock viene sempre venduto, e pertanto non riusciamo a mantenere questa scorta in ditta. L'obiettivo è avere sempre un robot disponibile.

Dunque, sulla base di ciò che ci hai detto, nell'asse della produzione vi state spostando da un Make to order a un Finalize to order. Il livello di progettazione, invece, è un mondo molto specifico dell'ETO, dato che le altre aziende hanno i disegni e il catalogo. Voi come vi posizionate su questa matrice?

(Viene mostrata all'intervistato la matrice, fornendo anche una breve descrizione)

Da noi la customizzazione c'è sempre, perciò direi che siamo a metà tra un "Major changes" e "Minor changes".

Quindi sicuramente siete un Modify to order. Utilizzate un configuratore in fase di progettazione?

Sì, esattamente. E poi all'arrivo dell'ordine modifichiamo.

Il livello di personalizzazione dipende dal prodotto?

La base per tutti i prodotti è sempre quella. È l'accessorio o la configurazione che cambia. Per la configurazione abbiamo un catalogo prodotti che copre gran parte delle configurazioni, mentre l'accessorio cambia molto.

Esistono accessori non a catalogo che possono essere richiesti?

Tendenzialmente no, tutti gli accessori sono anche a catalogo. Quello che cambia è una questione di acquisto, non c'è nulla da disegnare.

Per questione di acquisto cosa intendi?

Noi acquistiamo sulla base delle richieste del cliente. Ad esempio, se il cliente vuole un puntatore laser, noi lo acquistiamo su commessa.

E quindi non progettate proprio nulla?

Sì, si progetta solo la struttura per sorreggerlo. La progettazione riguarda quindi solo la configurazione della macchina.

Adesso ti vorremmo chiedere qualche domanda in merito ad alcune pratiche lean. Esiste un mondo di pratiche lean che riguardano il rapporto con il fornitore. La prima è il "feedback to supplier", ovvero il fatto che ci sia un reporting molto regolare verso fornitori, così da valutare le loro performance di qualità o delivery. Voi avete un sistema per valutare le performance dei fornitori e per inviare loro continui feedback?

Sì, abbiamo un modo per tracciarli. Ovvero, se per esempio oggi arriva un pezzo non conforme, i ragazzi me lo segnalano (mi mandano anche delle foto) e io scrivo una mail all'ufficio tecnico, il quale a sua volta la gira al fornitore. Il feedback, quindi, è questo.

È un feedback interno quindi? Voi fate un controllo qualità, la produzione parla con la progettazione che poi si interfaccia col cliente, corretto?

Esattamente.

Però voi non avete delle metriche per misurare il fornitore?

No. Questa è una cosa che però vorrei portare avanti. Con le foto che mi mandano i ragazzi vorrei creare un report mensile su cui fare l'analisi delle non conformità. E questo ci serve anche per la norma ISO9001, in quanto la qualità del cliente è proprio una prerogativa di tale standard.

A tuo parere quali sono le difficoltà che si possono riscontrare nel tentativo di instaurare questo rapporto di feedback regolari con i fornitori?

Sicuramente obbligare il fornitore ad avere la certificazione ISO9001, quindi avere un controllo qualità interno. Se loro avessero un controllo qualità noi riceveremmo un minore numero di pezzi non conformi.

In merito a questo, può centrare qualcosa il livello di customizzazione che il vostro settore ha? Oppure si tratta di un aspetto in generale?

No, penso sia in generale. I pezzi che ci arrivano non conformi riguardano la base del robot, sono quindi pezzi standard. La customizzazione non centra.

Sui ritardi invece?

Sui ritardi la customizzazione può impattare. Su alcuni pezzi riguardanti le parti customizzate ci sono magari dei disegni non corretti o comunque il fornitore utilizza disegni non aggiornati e ci consegna dei pezzi non conformi alla customizzazione. Di conseguenza, dobbiamo rimandarli indietro per essere rilavorati.

Avere un sistema di monitoraggio più strutturato potrebbe dunque aiutarvi?

Assolutamente sì. Il nostro problema, come tutti, è il tempo. Nel senso che il tempo di progettazione è sempre ristretto perché le consegne richieste dal cliente sono molto ristrette. Siamo obbligati a lavorare velocemente e questo implicitamente comporta un ridotto controllo. La metà delle tecniche lean permetterebbe di salvare del tempo che potremmo destinare al controllo qualità.

Questa tecnica aiuterebbe più a gestire la variabilità piuttosto che ridurla. Corretto?

Esatto.

A livello di Just In Time, sempre con i fornitori, avete qualche politica specifica?

Nulla.

C'è una ragione?

Non c'è una ragione esatta. Noi abbiamo degli ordini aperti, quindi è un contesto un po' più programmato. Abbiamo anche un minimo di scorta minima e, dato che gestiamo poco con il kanban, quando ci sono dei picchi andiamo a prosciugare velocemente le scorte in magazzino, anticipando quindi le richieste del mese successivo.

Come Kanban con i fornitori avete implementato qualcosa?

Nulla.

Quindi gli ordini aperti sono una forma per gestire la variabilità, dato che non riuscite ad assicurare al fornitore un acquisto preciso. Giusto?

Sì, esatto.

Voi riuscite a fare previsione della domanda?

No, nulla. Ad oggi, con il mercato americano, stiamo cercando di livellare i picchi di produzione. Nel senso che, anche se ci sono periodi un po' più scarichi di richieste, sicuramente il mercato americano ci richiede un numero di macchine di qualsiasi tipo. Adesso ce ne ha richieste 20 entro l'anno. E quindi nei momenti di scarico riusciamo a produrre le loro macchine, così da livellare la produzione. Quello che stiamo cercando di fare è avere 7 macchine al mese, così che se ci sono ordini le vendiamo tutte, altrimenti le mettiamo a stock, collegandosi così al discorso del minimo stock che vi dicevo prima. Così facendo riusciamo ad avere un minimo di takt time, che è la cosa più difficile da impostare per una commessa. Però in questo modo garantiamo un minimo di continuità ed evitiamo momenti in cui gli operatori sono totalmente scarichi o totalmente saturi.

Coinvolgete i fornitori nel design del prodotto?

No, il know-how è totalmente interno.

In ottica Lean, formate qualche fornitore?

No. Questo perché ci sono anche fornitori storici ed è difficile chiedere loro di cambiare il metodo di lavoro. Una recente miglioria è stata di far arrivare i pezzi di commesse differenti in pacchi o scatoloni differenti, così da evitarci il riconoscimento dei pezzi.

Per quanto riguarda la produzione interna avete qualche forma di takt time?

Attualmente, nel momento in cui arriva la commessa si "spinge". Questo porta ad avere dei picchi e dei momenti di scarico totale: è una cosa che non va bene a livello di produzione. Quindi, come dicevo prima,

quello che stiamo cercando di fare è di produrre un numero standard di macchine (semilavorati di base) al mese indipendentemente dalle commesse. Così anche da avere una produzione costante.

Come kanban interno avete qualcosa?

No, nulla. In futuro stiamo pianificando di introdurre dei kanban con bilance e dei magazzini verticali per le minuterie. Stiamo inoltre da poco cambiando gestionale, e quello nuovo dovrebbe permetterci di gestire la scorta minima, il che potrebbe essere un aiuto importante.

Avete qualche tecnica volta alla riduzione dei tempi di setup?

No, non abbiamo setup.

Livellate la produzione con qualche tecnica o strumento specifico?

Attualmente è molto difficile livellare la produzione. Il takt time potrebbe però aiutare ad avere una produzione più costante.

Rispetto alla manutenzione, avete qualcosa a livello di TPM?

No, non abbiamo esigenze di questo tipo.

Come tempi persi, quindi, la manutenzione non incide?

No, assolutamente no.

In merito al visual management della produzione, abbiamo visto prima come voi utilizzate il sistema con PowerBI come Andon. Voi quindi con questo sistema monitorate lo stato di avanzamento?

Esatto.

Avete anche intenzione di introdurre un sistema per monitorare i fermi per problematiche o mancanza materiale?

Proprio oggi parlavo con il responsabile e sarebbe interessante magari implementare qualcosa con PowerUp in modo tale da identificare i fermi e quantificare le ore perse. È sicuramente qualcosa che porteremo avanti in futuro.

A livello di Andon, la complessità è a livello tecnologico o c'è stata qualche resistenza da parte degli operatori?

No, nulla di rilevante da un punto di vista tecnologico. C'è soltanto un operatore un po' anziano che usa poco il computer, ma si affida ai ragazzi più giovani.

A livello di customizzazione, c'è qualcosa che vi ha creato problemi in questo sistema di PowerBI?

No, nulla.

Come performance, oltre allo stato di avanzamento, avete qualche sistema per monitorare tempi o altro?

No.

A livello di qualità?

Abbiamo iniziato la settimana scorsa e stiamo iniziando a classificare le non conformità. Ma siamo solo all'inizio.

Sempre sulla qualità, avete qualcosa a livello poka-yoke?

No.

A livello di qualità avete problemi in fase di assemblaggio?

Tutti gli eventuali problemi derivano dalla qualità del fornitore. Possono quindi crearsi a volte dei giochi nei movimenti delle parti meccaniche. Adesso stiamo innovando il prodotto, cercando di ridurre al minimo questi potenziali giochi, e potremmo vedere questo accorgimento come un modo per aumentare la qualità.

Avete degli strumenti statistici per il controllo dei processi?

Nulla.

Come analisi delle cause dei problemi avete qualche tecnica precisa?

Nulla di formalizzato.

Sempre sulla qualità, avete sistemi di visual management?

Niente.

Automazione?

Nulla.

Per evitare WIP, quindi pezzi che si fermano nel mezzo, avete creato delle isole, giusto?

Dipende, perché noi realizziamo prima i sottogruppi e poi li assembliamo. Perciò alcuni sottogruppi a volte restano fermi. Questo accade non perché c'è assenza di materiale, ma per un discorso di produzione. Magari

è più veloce preparare un tot di sottogruppi tutti uguali invece che portare avanti una commessa singola per volta. È come se facessimo piccoli lotti di produzione.

Capita spesso che manchi materiale?

Sì, capita. Perché magari il pezzo customizzato che ci arriva non è conforme, ed essendo unico come pezzo siamo fermi finché non torna.

Quindi la principale difficoltà per l'implementazione del flusso continuo è la mancanza di materiale legata ai pezzi customizzati, corretto?

Sì, oppure può anche capitare che terminiamo la scorta minima a causa di un picco di richieste.

Voi avete produzione per celle?

No, siamo strutturati a isole.

Applicate qualche forma di concurrent engineering?

Sì, per esempio il nuovo robot che stiamo facendo è partito dall'ufficio tecnico in stretta collaborazione con la produzione, così da anticipare i problemi in fase di montaggio, logistici o di altri tipi.

Questo vi aiuta a ridurre la variabilità del prodotto?

Sì, la collaborazione aiuta. Magari noi in produzione abbiamo una conoscenza migliore dei pezzi e possiamo quindi suggerire all'ufficio tecnico di utilizzare un componente standard, così da ridurre la variabilità del prodotto finale.

Per quanto riguarda la standardizzazione delle parti o modularità di design, avete qualche politica?

Sicuramente per il cablaggio abbiamo un'elevata standardizzazione. E stiamo anche cercando di creare uno standard per le basi dei robot.

Quali sono le difficoltà incontrate in queste attività?

La ricerca di un materiale che abbia entrambe le certificazioni e che rispetti appunto i diversi requisiti.

Quindi per voi le certificazioni sono un ulteriore elemento di variabilità?

Esattamente. Per esempio, nel mercato americano non vogliono componenti infiammabili. E quindi la vetroresina, che spesso usiamo, non rispetta questi requisiti. Tutto ciò può portare ad aumentare i costi, obbligandoci a cercare dei compromessi. Per il discorso ATEX, quindi mercato europeo, riusciamo ad usare dei componenti che anche da un punto di vista qualitativo sono superiori.

Sulla visibilità e lo scambio di informazioni, attraverso PowerBI avete permesso agli operatori di avere visibilità sullo stato di avanzamento delle commesse. Corretto?

Sì, assolutamente. E con l'utilizzo di appositi QR code gli operatori stessi possono accedere a delle informazioni senza quindi coinvolgere l'ufficio tecnico. Io ho un file in cui riporto tutte le commesse e proprio su questo file l'ufficio tecnico crea il link alle informazioni che gli operatori possono reperire tramite il QR code.

In generale, quindi, avete una buona integrazione tra produzione e ufficio tecnico, e questo permette una grande visibilità di informazione. Giusto?

Esatto. E questa visibilità l'hanno apprezzata molto anche gli operatori. Prima, era un continuo avanti indietro tra produzione e ufficio tecnico.

Queste informazioni sono quindi un forte strumento per gestire la variabilità?

Sì, aiuta moltissimo.

A livello di kaizen, quindi focus sul miglioramento continuo, avete qualche attività?

No, ho soltanto messo un'applicazione a schermo con frasi motivazionali, ma nulla di rilevante.

La cultura lean, all'interno dell'azienda, è ancora legata soltanto a te?

Purtroppo sì.

E, a tuo parere, questa è proprio una caratteristica del settore?

Potrebbe essere. Non c'è molta gente che sponsorizza la Lean nel nostro settore e perciò non si vedono mai i benefici finché non si attuano le pratiche.

Applicate o avete mai applicato la value stream mapping?

Stiamo cercando di standardizzare i processi, ma c'è ancora un po' di confusione su chi fa cosa. Nel senso che tutti fanno un po' tutto. Ed è proprio qui la nostra forza: dove non arriva uno arriva l'altro. Si sta cercando appunto di standardizzare i processi per evitare gli errori. Per esempio, per gli ordini di richiesta dei materiali, i primi giorni c'erano dei post-it. E ciò non è ammissibile, perché non possiamo rischiare di rimanere senza materiale. Di conseguenza, è stato creato un file per segnalare le richieste.

Parlando della forza lavoro, c'è un team leader che guida nel caso di un miglioramento?

Sì, spesso sono io. Ma lascio in generale molta carta bianca agli operatori, nel senso che nel caso di un problema cercano loro la soluzione, me la propongono e poi eventualmente la convalido. C'è quindi molta delega e teamwork.

Può essere che la specificità del vostro settore faciliti questa cosa, ovvero che gli operatori si sentono più coinvolti nelle attività?

Sì, perché facendo installazione sono loro che segnalano gli errori. Il loro apporto è cruciale.

Fate job rotation?

Sì, è importante che tutti sappiano fare tutto.

È una richiesta del settore?

No. Anzi, sarebbe più aziendalista che un operaio si specializzasse solo in un'attività, così da incrementare la qualità delle lavorazioni. Ma, così facendo, sarebbe molto scontento. E quindi è per questo che la job rotation è largamente applicata qui da noi. Questo ci aiuta a gestire la variabilità in quanto ci consente di essere più flessibili in produzione e gli operatori sono anche contenti. Poi nasce anche un minimo di concorrenza interna che può essere stimolante.

Avete un sistema di premiazione dei vostri operai?

Sì, l'anno scorso ho dato dei premi alle persone che hanno portato più innovazioni. Ho anche chiesto alla proprietà di portare avanti un sistema di premio aziendale legato alla produzione.

E su questo che complessità vedi?

Qualche resistenza della proprietà, nient'altro.

Come training lean hai fatto qualcosa agli operai?

Ho fatto vedere qualcosa. Il prima e il dopo di alcune applicazioni, ma ancora nessun coinvolgimento strutturato. Gli ho fatto vedere più i benefici che il come farlo. Quindi una formazione informale direi.

Sul posto di lavoro avete applicato qualche tecnica lean?

Abbiamo sistemato il layout dello stabilimento, introdotto il 5s per le singole postazioni, abbiamo isolato la zona sporca, sistemato le aree di magazzino e riorganizzato i dispenser per le minuterie.

Difficoltà legate a queste tecniche?

Legate al settore nulla. Abbiamo riscontrato qualche resistenza in quanto bisognava cambiare il posto di lavoro. Tutte queste pratiche facilitano la gestione e la riduzione della variabilità.

Durante il processo di montaggio, gli operatori seguono degli standard?

È stato creato un manuale che mostra le varie fasi di montaggio con le indicazioni necessarie, facendo quindi anche visual management. Questi manuali vengono sempre aggiornati, anche con l'aiuto di alcuni stagisti.

Parliamo adesso del cliente. Per il suo coinvolgimento, in termini di feedback sulle vostre performance, avete qualche sistema?

Sì, noi siamo molto customer-oriented, che è sia il nostro punto di forza ma d'altro canto anche la nostra croce, in quanto a volte alcune richieste sono molto difficili da essere portate a termine. In ogni caso, il cliente ci fornisce sempre dei feedback. Abbiamo un sistema di tracciamento dei ticket che si vengono a creare dopo l'installazione; quindi, per ogni impianto che si installa vengono aperti i ticket in caso di malfunzionamento.

Come design di prodotto, i clienti si affidano a voi?

Essenzialmente sì, loro si affidano a noi. Noi proponiamo il progetto e loro, a seconda dei loro standard, approvano o meno. Noi abbiamo degli standard di sicurezza elevati e quindi questo è un parametro da considerare anche in fase di design.

Tutte queste pratiche lean che avete attuato hanno raggiunto i risultati attesi o qualcuna vi ha deluso?

Per ora tutte le pratiche che abbiamo implementato hanno portato benefici. Eccetto il poka-yoke, che non possiamo fare, tutto il resto si potrebbe fare.

Case study 2

- Interviewers = Saverio Albanese and Amedeo Pellegrini
- Referent = Industrial Process & Planning Manager
- Date: 08/07/2021
- Recording time: 46' 25''
- Modality: meeting Teams

Noi abbiamo cercato brevemente qualcosa sul vostro sito web. Ad ogni modo, ci può fare una panoramica della vostra azienda?

XXX esiste dal 1976 e produce macchinari per la produzione di pannelli truciolari. I mobili sono dunque i clienti dei nostri clienti, e storicamente questo è il nostro core business. Negli ultimi anni però, e nell'ultimo decennio in particolare, ci siamo concentrati nell'area "green", realizzando impianti per il riciclaggio, pulizia, RSU e altro ancora. Siamo una ditta che conta circa 150 dipendenti nel 2020, con un fatturato di 80 milioni di euro annui sempre nel 2020.

I vostri clienti, quindi, sono coloro che realizzano truciolato?

Esatto, pannellature truciolate o comunque mobilio vario.

Che cosa vi ha spinto ad applicare i principi lean o comunque il kanban?

Sostanzialmente il kanban nasce per un'esigenza di gestione dei costi e delle risorse. Il kanban ha aiutato tantissimo a ridurre l'impegno delle nostre risorse umane nel magazzino per il controllo e la gestione del materiale, e ha portato sicuramente numerosi vantaggi; anche se, ovviamente, come tutte le medaglie ha anche il suo bel rovescio. Non è automatico, non è un processo che può andare avanti da solo: richiede sempre la presenza di qualcuno che controlli che il treno stia nei binari. È un attimo, per esempio, trovarsi senza materiale all'arrivo di progetti nuovi. Quest'ultimi vanno quindi monitorati, e va valutata la disponibilità del materiale attraverso dei sistemi di controllo. È vero che il sistema kanban può essere lasciato a chiunque, perché basta che la cassetta vuota si riempia, ma ha sempre bisogno dell'esperienza degli addetti che notino quando c'è qualcosa che non va, quando c'è un picco di richiesta, oppure ancora che una cassetta resti piena per troppo tempo. Perché è vero che in genere sono materiali di categoria "C" (quindi a basso impatto di costo diretto), ma si tratta comunque di uno spazio fisico occupato. A lungo andare è come la spia della TV: sempre accesa che consuma.

Quindi è anche un costo gestionale il kanban?

Sì, va sempre monitorato! Non è un processo automatico che si basa semplicemente su “svuoto” e “riempio” la cassetta. All'inizio può andare bene in quanto c'è poca storia dietro l'analisi dei dati, la quale si limita ad uno storico sul consumo specifico della distinta base e non su una routine quotidiana. Dunque, all'inizio tutti i numeri sembrano buoni; poi vanno però digeriti e gestiti nell'arco del tempo, ossia quando il kanban diventa veramente operativo. È vero poi che “l'appetito vien mangiando”, e si capisce quindi che ci sono grossi vantaggi a livello gestionale. Basti pensare che la filiera del kanban paga tutta la gestione dei beni e dei materiali, dell'emissione di un'analisi del fabbisogno di acquisto... c'è quindi tutto un processo di gestione che viene completamente bypassato con una grossa riduzione della flotta costi. È pur vero che, come detto prima, se l'attività di refilling non viene monitorata almeno settimanalmente da un esperto che conosce la reale movimentazione del materiale al di là dei numeri, il kanban rischia di diventare quella spia che rimane lì accesa e che comunque, di fondo, consuma.

L'anno scorso avete fatturato circa 80 milioni di euro. Come si divide questa somma? Vendete principalmente a clienti italiani o stranieri?

Credo che l'80% del nostro fatturato sia estero. Si tratta di grossi impianti e per i quali è necessario un grosso investimento. Anche qui la Cina è stata “padrona” per qualche anno, e fortunatamente per noi le richieste sono state di impianti fotocopia che hanno chiesto poca attività di engineering, relativa quindi semplicemente alla traslazione dei progetti per realtà dislocate in un sito diverso. Il discorso invece cambia per l'area green. Tale settore è infatti attualmente impegnato in Italia. Tutti i progetti nuovi richiedono anche un'attività burocratica diversa da quella che viene magari richiesta su un impianto già esistente piuttosto che estero.

Il vostro prodotto ha quindi bisogno di adattarsi alle esigenze strutturali del cliente. Corretto?

Esatto, il nostro è un prodotto configurabile. Le macchine si basano su uno zoccolo duro, ovvero su una macchina standard. Naturalmente ci sono poi diverse tipologie di prodotto a seconda del materiale che devono trattare, come può essere il materiale secco piuttosto che quello riciclato o umido. Per esempio, se tali macchine devono compiere un tipo di separazione basata sul movimento dell'aria, dove quindi bisogna dividere materiale volatile da quello solido, o ancora separare sassi dal legno piuttosto che dal ferro, e quindi tipologie magnetiche o superconduttori se devono per esempio dividere l'alluminio o altri materiali non ferrosi (e quindi non calamitabili). Il prodotto va ovviamente costruito su misura in quanto “paese che vai materiale o inquinanti che trovi”. Chi deve trattare il legno vergine, per esempio, ha bisogno di tecnologie che sappiano trattare un materiale più umido. Ogni progetto ha quindi una storia a sé stante, e richiede una grande attività di engineering. Noi abbiamo un laboratorio analisi che testa proprio il materiale da andare a lavorare, e che quindi misura le performance dei nostri macchinari con il materiale direttamente fornito dal

cliente, così da poter garantire un alto livello di qualità sul flusso del pretrattato. Noi comunque ingegnerizziamo anche macchine completamente su richiesta del cliente, ma principalmente adattiamo i nostri macchinari personalizzandoli per esempio con il tipo di setaccio che deve separare una granulometria piuttosto che un'altra, o con i distanziali tra i separatori per definire i materiali da far passare e quelli da scartare. Operiamo quindi un adattamento della configurazione della macchina al fine di ottenere un certo risultato con delle garanzie specifiche, anche di legge. Bisogna quindi non superare una certa percentuale di inquinanti, o anche definire un tonnellaggio massimo di materiale che deve essere filtrato e preparato per l'impasto del pannello truciolare. Queste performance vengono stabilite a monte contrattualmente, e poi verificate da risultati pratici.

Per quanto riguarda il vostro rapporto con i fornitori, implementate qualche politica di feedback nei loro confronti? Avete un sistema di consegna just in time?

Essendo un'azienda certificata, abbiamo in larga parte bisogno di fornitori certificati. Se il fornitore non dovesse certificato passa attraverso una serie di maglie del controllo qualità che, implicitamente, è come se lo certificassero. Noi abbiamo bisogno di risultati di alta qualità, in quanto per alcuni macchinari le lavorazioni meccaniche richiedono un'elevata precisione, e noi dobbiamo quindi garantire che il tutto arrivi all'assemblaggio testato e verificato. I controlli vengono quindi eseguiti sia per la nostra produzione interna, con una serie di passaggi molto serrati, sia per il materiale proveniente dall'esterno: o il fornitore è certificato o in qualche modo il componente deve essere testato in prima battuta da loro e in seconda istanza da noi. Poi disponiamo anche di una serie di fornitori fidelizzati con cui riusciamo ad ottenere delle tempistiche di consegna che altrimenti non si riuscirebbero ad avere. Noi basiamo la programmazione su dei lead time storici, qualificando quindi i fornitori anche sulla base delle date di consegna. È vero anche che il mondo sta cambiando, e velocemente, e le tempistiche di consegna dei nostri fornitori in questo periodo non sono così agevoli da permettere il rispetto di tutti i paletti che nella storia siamo riusciti a mettere. Gli interventi sono all'ordine del giorno, e poi c'è anche da considerare il fatto che noi abbiamo un reparto di pronto intervento che definisce le urgenze in caso di malfunzionamento, rotture o incidenti di impianto. Il materiale è comunque esplosivo, come polvere di legno, magari pestata, su silos che possono appunto auto-innescare incendi. Noi siamo certificati anche per produrre macchinari ATEX, ma l'incidente è all'ordine del giorno: l'uomo che passa e non lubrifica le macchine secondo il manuale, mancata manutenzione straordinaria e ordinaria o altro ancora. E quando un impianto di quelle dimensioni si ferma (con decine di migliaia di euro di produzione al minuto) o c'è un pronto intervento e una garanzia dietro, o i danni possono essere ancora più gravi di quelli stimati a prima vista. È un lavoro a tutto tondo che richiede grandi sforzi e una grossa organizzazione dietro. Ad ogni modo, non tutto può essere perfetto.

La progettazione dell'impianto è quindi completamente realizzata internamente da voi? Non vengono operativamente coinvolti fornitori o clienti?

No, è tutto fatto internamente. Noi commercializziamo anche altri macchinari, ma li definiamo macchinari "poveri", come i trasporti per esempio. Il trasporto per quel che riguarda il nostro flusso è un macchinario semplice, quasi "banale". Nel senso che consiste in un motore che fa girare due rulli che a loro volta muovono un nastro: non c'è quindi un particolare know-how da mettere in gioco. C'è solamente l'analisi di un tecnologo che definisce i processi macchina per cui si ottengono certe performance: si calcola semplicemente la densità media del materiale che deve passare, il consumo elettrico medio, e una sequenza di accensione e movimentazione dei nastri basata comunque su un know-how puramente nostro.

Per quanto riguarda invece la produzione e l'assemblaggio vero e proprio dell'impianto, vengono effettuate solo in modalità pull?

Per quanto riguarda l'assemblaggio finale, partendo dalla coda, noi ci appoggiamo alle squadre locali. Abbiamo i nostri supervisori, ma quando facciamo un impianto in Polonia, in Thailandia, in Cina o ancora in Brasile, non mandiamo squadre di nostri operai, bensì ci appoggiamo a squadre locali gestite dai nostri supervisori. Noi facciamo parte di un gruppo che è la XXX-XXX, il quale possiede anche il know-how elettrico elettronico nella gestione dei flussi, nella gestione dei controlli nella parte della movimentazione e anche per l'analisi dei consumi. Si tratta quindi di un lavoro d'equipe che viene programmato a monte con una discussione con il client, la quale può andare avanti anche per anni. Non stiamo parlando del progetto di una casa per cui, una volta approvato, si scava e si costruisce. Qui c'è una progettualità che può durare anche per lunghi periodi. Ci sono degli aspetti ambientali e sismici da controllare, così come l'impatto ambientale e sociale da monitorare. Una volta che il layout dell'impianto è definito, l'ufficio macchine avvia una specifica analisi delle macchine che compongono l'impianto, e tale ufficio si appoggia a sua volta all'ufficio elettrico. In simbiosi, generano quindi la parte "macchinistica", che viene poi digerita dalla pianificazione del sistema industriale e dalla produzione. Anche a livello gestionale, nella parte impiantistica, ci sono dei project manager e dei commerciali. Il commerciale è colui che alla fine acquisisce l'ordine e raccoglie informazioni per quel che riguarda la verniciatura, l'impatto ambientale, le verifiche sismiche e anche le condizioni climatiche. Si possono infatti realizzare macchinari adatti a lavorare in condizioni estreme come in Siberia a meno quaranta gradi. C'è quindi tutta una serie di personalizzazioni che dipendono dal sito e dalle sue condizioni geografiche, oltre che a volte geopolitiche.

Per quanto riguarda invece il controllo della produzione, avete una sistema di gestione visiva?

Intende gestione visiva a livello di controllo qualità o come controllo di gestione?

Pensavamo più come controllo di gestione.

Il controllo della produzione è fondamentalmente eseguito dal sistema gestionale. Tutto è in un planning generale con scadenze monitorate quotidianamente al fine di rispettare le date promesse ai clienti. Si passa quindi attraverso diverse milestones. Ogni produzione ha il suo specifico ordine di produzione, che impegna il materiale necessario e definisce il suo ciclo di produzione, il quale a sua volta schedula le attività di fabbrica. Il controllo giornaliero sui materiali definisce poi anche eventuali interventi nei confronti dei fornitori. Il tutto è mappato in un programma sequenziale che definisce il rispetto del flusso di produzione e delle consegne. Ci sono riunioni costanti con il Project manager e la parte del planning per definire eventuali ritardi, interventi mirati, o valutare la richiesta di eventuali posticipi se ci sono delle criticità imminenti. Tutto è gestito dal gestionale e alcuni software paralleli "dipartimentali". Anche l'avanzamento della produzione è gestito da un MES che dichiara automaticamente le attività e lo stato della produzione. Il budget delle ore preventivate per una certa attività viene stilato, e si registrano in seguito le ore erose, proprio per capire se siamo in linea con il target, se lo stiamo superando, o se eventualmente siamo migliorati, così definire un nuovo standard per le prossime produzioni.

Sulla base di ciò che ci ha riferito, voi avete delle metriche interne per le varie operazioni da svolgere, vero?

Tutte le produzioni interne sono basate su cicli di produzione standardizzati, o comunque modificati dall'ufficio produzione sulla base delle migliorie concordate con gli operatori stessi. C'è molto dialogo trasversale tra le attività, così come molta apertura anche nei vari reparti. E questo si avvicina molto al pensiero Lean.

Voi quindi realizzate internamente i componenti necessari per i vostri impianti. Tale produzione è divisa in celle o disponete di reparti?

Principalmente i componenti base sono per cella. C'è il reparto macchine utensili che comunque ha una specificità di operatori, di know-how e di flusso di materiali, e che non può in nessun caso essere mescolata con l'attività di assemblaggio. Quindi la parte base della produzione è per celle, dopodiché da alcune isole di carpenteria e assemblaggio escono i componenti finiti. All'interno di quel reparto c'è il know-how completo per la produzione di quel macchinario, in modo che la responsabilità della qualità ottenuta sia oggettivamente riferita a un comparto specifico. Inoltre, un'altra isola che può essere considerata a sé è la verniciatura. Dopo dipende anche da come viene fatta la decisione del "make or buy", la quale dipende dal carico di lavoro. Abbiamo una pianificazione a sei mesi che definisce la capacità o meno di sopperire a certe attività, e quindi se svolgerle internamente o esternalizzarle.

Per quanto riguarda invece la forza lavoro, ci ha già parlato di una forte specializzazione per le diverse fasi.

Ad ogni modo, si lavora solitamente in team oppure le attività sono più individuali?

L'approccio alle macchine utensili è principalmente individuale, mentre la parte di verniciatura è più un lavoro di squadra. Le operazioni di carpenteria sono anche individuali, ma per le relative attività che richiedono un'attività più corposa si possono mettere anche formare squadre, sebbene al massimo con due o tre persone. Infine, le attività di montaggio richiedono proprio delle squadre di assemblaggio.

La forza lavoro ha opposto resistenza quando è stato introdotto il sistema kanban?

Devo dire di no, in quanto è stato riscontrato un approccio abbastanza positivo da parte di tutti. Inizialmente la resistenza è dovuta solo al fatto che qualsiasi tipo di cambiamento crea dei disagi, ma basti pensare agli immediati benefici comportati dal fatto che l'assemblatore può andare a prendere direttamente da un supermarket di viteria ciò di cui necessita senza aspettare di essere servito da un magazziniere. Noi cerchiamo ad ogni modo di limitare la fantasia dell'assemblatore, nel senso che nel momento in cui questi non rispetta un progetto, chiediamo che coinvolga direttamente il progettista per giustificare il perché sia stata apportata una specifica modifica. Questo anche alla luce del fatto che, nel caso in cui dovessimo fare manutenzione sul macchinario, la modifica apportata ad una macchina da un operatore in modo autonomo creerebbe molti problemi. Per esempio, rischieremo di portare in cantiere del materiale che poi non è conforme a quello che il cliente si è trovato a dover smontare e rimontare. Quindi noi chiediamo la massima collaborazione ai montatori, ai quali diamo la libertà di opinione e di intervento sulle macchine. Questo proprio perché è l'operatore spesso che possiede il know-how migliore: essendo sul campo è lui che capisce con più precisione quali tipi di azioni possono essere eseguite per migliorare sia l'assemblaggio che il funzionamento della macchina. Questo però, come detto prima, sempre in stretta collaborazione con un tecnico che deve monitorare e certificare le opportune modifiche. Ricordo inoltre che noi dobbiamo poi certificare le nostre macchine, per cui abbiamo un fascicolo tecnico a corredo. Consegniamo inoltre al cliente un manuale operativo con delle garanzie di sicurezza e funzionalità, oltre che l'esplicita dichiarazione dei possibili rischi. La sicurezza ambientale è un tema prioritario per quel che ci riguarda: vogliamo la sicurezza sia del nostro ambiente di lavoro che in quello del cliente. E soprattutto, non vogliamo incidenti di percorso quando si ha a che fare con le persone: questo è tassativo!

Quindi l'operatore, in un certo senso, collabora col reparto di engineering. Corretto?

Esatto. Deve esserci una perfetta osmosi, una condivisione di intenti, ma anche una condivisione di risultati. Quindi se l'operatore decide che, anche magari consultandosi con il suo caporeparto, una modifica possa portare benefici, è vitale che la esponga. Se ha dei dubbi, basta che "alzi la mano" e ci si confronta: se il tecnico ha una forza di persuasione tale da convincerti che la sua scelta tecnica è migliore, allora l'operatore deve assemblare la macchina in quel modo lì, ma se egli riesce a dimostrare che quello che sta facendo può

essere migliorato, entro certi termini ovviamente, e riesci a condividere questa cosa con il reparto tecnico, alla fine si rivela una decisione “win-win”. Vincono quindi entrambi, e tale meccanismo porta vantaggi a loro stessi per il loro modo di lavorare, così come per il futuro dell’azienda. Noi organizziamo anche diversi incontri con i reparti: spieghiamo inizialmente come deve essere assemblata la macchina, ma lasciamo sempre un margine di intervento.

Complessivamente, vi ritenete soddisfatti dell'applicazione del kanban?

Sì, e tale sistema ha anche avuto anche degli sviluppi. Il kanban è nato come supermarket centralizzato, dopodiché abbiamo deciso di svilupparlo con dei *kanban delocalizzati*, in modo da lasciare maggiore libertà agli operatori che pertanto attingono dai loro kanban delocalizzati. E si definisce quindi un addetto che vada a prelevare dal supermarket centrale per fare il refilling di quelli delocalizzati. Questo è stato uno sviluppo che è piaciuto molto ai reparti, lasciando dunque la libertà di “fare del disordine”, nel senso che nel momento di pressione dovuto a una certa imminente consegna l’operatore non ha il tempo di andare al supermarket e mantenere l’ordine che un tale supermarket richiederebbe. Lasciamo quindi all’operatore la libertà di prendere le cassette da tenersi poi in reparto. Avendo delocalizzato e avendo concesso questa libertà agli operatori, nel supermarket generale viene preservato pertanto un discreto ordine.

Il sistema kanban che ci ha illustrato viene anche esteso ai fornitori? O si tratta esclusivamente di una cosa interna?

È una cosa interna, e in questo momento coinvolge solo elementi di acquisto. È importante perché c'è un rapporto diretto tra noi e il fornitore e non ci sono reparti di transizione intermedi.

Esistono altre pratiche lean che state pensando di implementare in futuro?

Diciamo che abbiamo in mente delle tecniche più di approccio che meccanicistiche. In azienda, in ogni caso, noi abbiamo una metodologia di continuous improvement dei progetti. Cerchiamo di ascoltare sempre quando c’è un problema, e di discuterne subito. Come dicevo prima, si tratta di un approccio metodologico alla filosofia Lean più che di pratiche meccanicistiche quale il kanban (quest’ultimo è il risultato di un’analisi economica a dir la verità), la continua risoluzione dei problemi e la pulizia dei reparti.

Nel momento in cui avete cercato di implementare il kanban, ci sono state delle difficoltà da un punto di vista tecnico?

Non lo nascondo, abbiamo dovuto letteralmente sporcarci le maniche. Io sono stato una decina di giorni con i guanti addosso insieme agli operatori per tirar fuori scatoloni di materiale pieni di polvere. È così: un conto sono i numeri, e un conto è poi la realtà tangibile. Abbiamo fatto la suddivisione e la raccolta del materiale per preparare poi l’intervento del fornitore, definito la posizione delle scaffalature, e avviato l’utilizzo delle cassette kanban. Ed è lì che scopri di avere “tante ragnatele nell’armadio”. Ovviamente era un po’ che non

apriamo certi scatoloni, per cui consumavamo quello che ordinavamo. L'attività di progettazione di un sistema kanban non è quindi una semplice analisi matematica o di costo, ma c'è anche tanto lavoro dietro per fare pulizia, raccogliere e separare il materiale. Materiale che era già comunque giacente e visibile a livello numerico, in quanto continuavamo a pagarci le tasse. In azienda il "giro" del kanban si aggira attorno ai 100.000 euro annui. Sebbene stiamo parlando di prodotti di classe C, nel complesso si registra quindi un impatto notevole. Con delle prime stime riesci a capire che magari un 20 o 30 mila euro di materiale obsoleto è rimesso in circolo per consumarlo magari in due o tre anni, però numericamente non si ha una quantificazione del vantaggio che hai ottenuto. Ad ogni modo, tutti gli operatori hanno percepito il vantaggio di questa attività di pulizia, riorganizzazione e ordine. Infine, anche a livello manuale c'è un grande lavoro di preparazione. Quando avvii un sistema kanban, oltre alla parte costruttiva, devi valutare i fornitori, i volumi in gioco, e altro ancora. Il kanban è in conclusione una gran cosa, ma non è automatico.

Nel momento in cui vi arriva un ordine, voi avete un catalogo o realizzato sempre tutto sempre partendo da zero? Io immagino abbiate un catalogo.

Esatto, c'è un catalogo che definisce i macchinari, il tipo di processo che supportano, le performance che garantiscono. E poi c'è la personalizzazione a livello impiantistico per il cliente.

Perfetto. Questa customizzazione riguarda gran parte del progetto o è una piccola parte del prodotto finito? In altre parole, la customizzazione impatta molto o poco?

In media, il layout macchina si basa su un 20% di prestazione grosso modo, guardando tutti i vari tipi di macchinari. Contro un 80% che è quello che noi definiamo il "primitivo macchina", ossia quello zoccolo duro con cui noi possiamo già partire in produzione. Una volta acquisito l'ordine e fatto un briefing di lancio commessa, il primitivo macchina (su cui costruire poi una serie di personalizzazioni) possiamo già lanciarlo in pianificazione.

In media, quanti macchinari riuscite a realizzare ogni anno?

In linea di massima, tralasciando alcuni macchinari particolari, produciamo circa 20 macchine al mese: e parlo di produzione completa, tralasciando quindi il commercializzato che può anche raddoppiare o triplicare il dato. In questo momento stiamo trattando una linea che prevede una ventina di macchine nostre e un'ottantina di macchine esterne per dire. Nello specifico, si tratta di un impianto che prevede una grossa movimentazione di merce in cui i trasporti giocano un ruolo fondamentale. Per concludere, possiamo considerare un 250 macchine di produzione propria all'anno.

Quando avete implementato il kanban, che effetti ci sono stati sulla variabilità?

L'annullamento totale della variabilità è impossibile se non produci in serie, e noi non produciamo in serie. Abbiamo ad ogni modo dei picchi di richiesta che affrontiamo con delle richieste Just in Time verso i fornitori

Case study 3

- Interviewers = Saverio Albanese and Amedeo Pellegrini
- Referent = Production Manager
- Date: 14/07/2021
- Recording time: 71' 57"
- Modality: meeting Teams

Noi abbiamo già visitato velocemente il vostro sito. Ad ogni modo, di che cosa vi occupate? Qual è il vostro settore principale di applicazione?

Il nostro settore principale prevede la realizzazione di macchine per fondazioni. Sono delle macchine che hanno a che fare con la cantieristica; quindi, non sono proprio macchine “movimento terra”, anche se molto simili dal punto di vista dei principi base di funzionamento. Facciamo macchine che vanno dalle 3-4 tonnellate di peso fino ai 200.000 kg. Per esempio, due settimane fa abbiamo spedito una macchina da 200 tonnellate, chiaramente non intera, ma in una decina di camion. Queste macchine sono dedicate appunto a lavori di fondazione e consolidamento e sono divise in tre categorie. Innanzitutto, abbiamo le macchine da pali, che fanno dei fori verticali o circa verticali trivellati; noi non facciamo le macchine che battono il palo (i famosi batti-palo), bensì c'è asportazione di terreno. Vengono fatti dei pali verticali che possono arrivare anche a 80 o 90 m di profondità e 2 m di diametro. Sono dunque dei pali molto grossi nei quali viene gettato il calcestruzzo e inserita una gabbia, fungendo quindi da fondazione a qualcosa che verrà costruita sopra. E questa è una tipologia di macchina per cui abbiamo un po' di modelli. Ci sono poi le macchine che fanno invece diaframmi: anziché fare un foro a sezione circolare fanno un foro a sezione rettangolare dove, mettendo uno accanto all'altro tanti rettangoli, alla fine viene fuori una parete che può essere profonda dai 20 m ai 100 m, il tutto a seconda delle tecnologie utilizzate. Macchine per pali e macchine per diaframmi noi le chiamiamo “grande perforazione”. A seguire, facciamo anche le macchine che noi chiamiamo di “piccola perforazione”, che offrono la possibilità di lavorare con l'asse di perforazione non più solo verticale, ma orientato un po' in tutte le direzioni. Queste macchine servono per fare sondaggi, quindi ad esempio viene carotato del terreno per vedere sotto che terreno c'è, oppure servono per fare micropali, cioè sempre fori simili a quelli che citavo prima, ma molto più piccoli di diametro. Queste macchine servono anche per gli ancoraggi, ovvero vengono utilizzate in presenza di un pendio per evitare che la parete frani. Tali macchine fanno infatti una serie di tiranti orizzontali (o vicino all'orizzontale) lunghi 20 o 30 m. Questa seconda categoria di macchine che chiamiamo di “piccola perforazione” comprende anche macchine per geotermia, dove si tratta sempre di fare un foro. In seguito, anziché inserire calcestruzzo, viene calata la sonda geotermica. Sono tutte macchine cingolate dotate di un motore diesel che è la fonte di potenza. Alcune, siccome possono lavorare in galleria, hanno invece il motore elettrico che si attacca a una presa di cantiere. Le macchine, perciò, hanno un motore diesel o un motore elettrico che fa da generatore principale di potenza

che, con delle pompe oleodinamiche, viene distribuita in giro per la macchina. Pertanto, è l'olio che fa eseguire tutti i movimenti. Negli ultimi anni, inoltre, la parte software, sensoristica ed elettronica che c'è dentro le macchine è stata ulteriormente migliorata. Infine, fatturiamo intorno ai 100 milioni all'anno e siamo circa 250 persone.

In media, quante macchine producete all'anno?

Intorno alle 150, poi potrebbero essere anche 100 o 200. Nel 2008, invece, ne abbiamo prodotte 550.

Quindi i vostri clienti sono direttamente i cantieri o degli intermediari?

Sono in genere le aziende che fanno fondazioni. Ad esempio, l'azienda che prende l'appalto per costruire un ponte, potrebbe avere al suo interno anche la divisione per le fondazioni. Spesso però non è così, e infatti l'azienda che ha preso l'appalto si appoggia a un terzista che si occupa appositamente delle fondazioni. Il cliente di questo tipo può essere una multinazionale da miliardi di fatturato che ha centinaia di macchine nel proprio parco macchine, oppure può essere il famoso "padroncino" che possiede una o due macchine, o ancora può essere una società di noleggio, ovvero che acquista la macchina da noi per poi noleggiarla.

Sempre in merito al mercato, avete più richieste dall'Italia o dall'estero?

Senza dubbio dall'estero. Fino a qualche anno fa dall'estero proveniva circa il 95/97% delle commesse. Nell'ultimo paio d'anni, invece, anche grazie agli incentivi 4.0 e al fatto che le nostre macchine sono predisposte per poter essere inserite in un sistema 4.0, il mercato italiano ha ripreso molto vigore, dopo che appunto per un po' di tempo era stato pressoché inesistente. Ad ogni modo, non saprei dirvi in questo momento quanto rappresenta esattamente il mercato italiano, sicuramente non raggiunge il 50% di sicuro. Il mercato estero dipende tantissimo dalle situazioni politiche dei vari paesi. Ad esempio, per noi la Russia era un tempo un grosso mercato, poi hanno inserito una serie di dazi e embarghi e siamo stati fortemente influenzati da queste vicende. Oppure, vendevamo anche molte macchine in Libia, dove invece ora non si vende più neanche una macchina.

Rispetto alla concorrenza, se dovesse trovare un punto su cui voi siete migliori, direbbe la qualità? O altro?

Al momento abbiamo una dimensione ottimale. Infatti, nonostante la perdita di alcuni ordini a causa della poca voglia di essere spavaldi, ci sono concorrenti che hanno raggiunto una dimensione maggiore (un paio di aziende, non molte). Questi hanno raggiunto mercati anche un po' diversi dai nostri, dove per raggiungere il punto di break even hanno bisogno di certi margini. Quindi, alla fine, magari fatturano molto di più, ma fanno abbastanza fatica da un punto di vista economico-finanziario. Perciò, come dicevo prima, la nostra dimensione ottimale rappresenta un punto di forza finanziario e gestionale. Alcuni concorrenti, infatti, sopravvivono grazie a dei finanziamenti straordinari (alcuni anche più grandi di noi). Un altro punto di forza

è senza dubbio il fatto che il cliente si rivolge a noi per la realizzazione di macchine totalmente ad hoc. Il livello di personalizzazione che forniamo è quindi molto elevato. Nei mercati del 2008, questo livello di customizzazione era impensabile perché lì le macchine erano tutte uguali. Al giorno d'oggi, invece, ogni cliente vuole qualcosa di speciale e da noi questo "qualcosa di speciale" lo trova.

In merito proprio alla customizzazione del prodotto, ancora prima che arrivi l'ordine, voi avete una base o una piattaforma standard su cui poi montare le diverse parti richieste?

I lead time di consegna richiesti dal cliente non sono compatibili con i lead time di arrivo dei componenti. Per esempio, per un motore diesel, in questo momento, ci vogliono circa sei 6/7 mesi per averlo e molti acquirenti di macchine che possiedono questo tipo di motore sono disposti ad aspettare un mese e mezzo. Per cui, siamo obbligati a montare una parte del prodotto finito su previsione. Dopo l'ordine cliente, invece, il nostro sistema produttivo riguarda la messa assieme dei gruppi di componenti che già abbiamo predisposto. In contemporanea, poi, c'è la parte di progettazione (ETO) per tutte le richieste ad hoc. Perciò, noi siamo in parte "Assembly to order" e in parte "Engineering to order".

Passando alla Lean production, argomento principale della nostra intervista, le volevamo chiedere se ci può iniziare a descrivere qualche tecnica da voi implementata.

Personalmente, io sono molto appassionato all'argomento. Sono stato in ferie tre anni fa in Giappone, dove ho visitato lo stabilimento produttivo della Toyota. Come azienda, abbiamo fatto tanto negli anni del boom 2007/2008. Anche dal punto di vista infrastrutturale Lean avevamo fatto grandi passi in avanti e, infatti, avevamo realizzato delle linee di produzione. Una linea che riesce a muovere 25 tonnellate non è così semplice, ciò nonostante abbiamo scavato, abbiamo fatto rotaie, abbiamo fatto carrelli, abbiamo usato la value stream map e abbiamo portato alcune fasi produttive vicino alle macchine. Inoltre, abbiamo realizzato il "one piece flow" in parte alla linea. Sempre in quegli anni ci eravamo spinti a fare dei carrellini simili al poka-yoke con già le sagome di alcuni dei pezzi principali, in modo da facilitare le operazioni degli operatori. Come conseguenza, abbiamo riscontrato una riduzione dello spazio utilizzato e del tempo di attraversamento. Ovvero, risultati paragonabili a quelli che si leggono nei libri. Abbiamo implementato il kanban non solo per quanto riguarda le minuterie, ma ci eravamo anche spinti per valvole e collettori, ovvero anche per componentistica di valore maggiore rispetto a viti e rondelle. Ad ogni modo, il discorso kanban molto onestamente si è fermato a quello che vi ho detto, cioè al fornitore di minuterie, tant'è vero che veniva il fornitore stesso a rifornire le cassetine in funzione dei pieni e dei vuoti. Agli altri fornitori, purtroppo, si è esteso molto poco il discorso. In aggiunta, anche il concetto di takt time era stato utilizzato. Avevamo un takt time in alcune di queste linee che arrivava a un giorno e mezzo. Come dicevo prima, l'approccio Lean ha dato degli ottimi risultati dal punto di vista dell'utilizzo dello spazio, dal punto di vista del tempo di attraversamento e dal punto di vista dell'utilizzo delle risorse. In quegli anni lì ci sono stati tanti

pensionamenti e, grazie a questo approccio Lean, è stato anche molto più facile l'inserimento di persone nuove, rendendole operative abbastanza in fretta. Poi nel tempo la cosa è cambiata molto perché gli anni subito dopo il boom sono stati gli anni "di cassa integrazione", ossia un periodo tragico per tutti. Quando poi il mercato si è un po' ripreso, i numeri e la variabilità di prodotti sono stati esagerati. Io, come vi dicevo, sono appassionato di Lean e sto insistendo a mantenerla viva in alcune parti dell'azienda. Per esempio, sto esasperando l'heijunka box, cioè nella stessa linea lancio in produzione macchine da 190 ore di tempo di montaggio a macchine da 300 ore di montaggio. Questo complica moltissimo la gestione della linea e fa quasi sparire l'effetto visivo del takt time in quanto le linee che abbiamo adesso ci stanno servendo più che altro per la disposizione dei materiali e delle attrezzature. Ad esempio, la zona dove montiamo i cingoli, lasciando le macchine in linea, è praticamente sempre quella quando la macchina arriva in quel punto. E quindi, questi vantaggi della linea li abbiamo ancora perché in quel punto ci sono le attrezzature dedicate, però questa grossa disparità di tempi di montaggio fa in modo che una macchina avanzi di più, poi resti un po' ferma oppure avanzi quella dopo. Siccome la riduzione dei numeri e la maggiore variabilità hanno causato un aumento del takt time, capita anche molto più frequentemente che l'ufficio commerciale comunichi alla produzione che il cliente ha cambiato idea. Questo comporta modifiche al piano produttivo e rappresenta una grossa complessità da gestire una volta che la macchina è entrata in linea. Per concludere, dunque, l'azienda oggi non pulsa perfettamente al ritmo del takt time: la linea si avvicina, ma non è una regola scandita. Vorremmo tornare a spingerci un po' in questa direzione, magari portando fuori dalla linea alcune delle operazioni per poter avere dentro la linea dei tempi uguali per tutti le macchine. In altre parole, stiamo cercando qualche soluzione per riuscire di nuovo a tornare a quei concetti.

Per quanto riguarda la Lean production da un punto di vista della gestione delle risorse umane, eseguite qualche tecnica come job rotation, 5s o workplace housekeeping?

Il 5 S sì, lo applichiamo. Ognuno degli operatori in fabbrica ha fatto formazione su Lean e su 5S, e quindi tutti hanno visto questa tecnica lean. Questo è avvenuto però molti anni fa e ancora oggi c'è infatti un margine veramente notevole di miglioramento. Una cosa dove siamo rimasti sempre un po' incerti è la decisione di lasciare o meno le attrezzature piccole nella postazione. Infatti, per esempio, abbiamo segnato a terra la posizione corretta dei diversi tipi di bilancino di sollevamento. Per quanto riguarda la rotazione degli operatori, abbiamo investito abbastanza e stiamo continuando ad investire. Non è una cosa fatta con estrema regolarità: ci sono persone che magari sono diventate abili in un certo lavoro e proprio perché sono diventate abili c'è un po' di timore a spostarle. Un piano più strutturato su questo aspetto non sarebbe affatto male.

Invece, per quanto riguarda la gestione visuale della produzione, possedete delle board o dei monitor che riportano ad esempio la percentuale di completamento di una commessa?

Anche questo argomento è in fase di studio. Abbiamo delle postazioni dove sono visualizzati i grafici dell'andamento della produzione dal punto di vista del rendimento, dove noi per rendimento intendiamo le ore previste diviso le ore effettive. Questo grafico è costantemente aggiornato e ci sono poi nei reparti anche dati relativi all' assenteismo, infortunio, malattia, ecc. Inoltre, vengono visualizzati i dati relativi all'efficienza, indice che tiene conto delle ore dedicate ad attività non prettamente produttive quali pulizia, non conformità del pezzo e altre. Tutti questi grafici sono appesi e la registrazione delle ore avviene quotidianamente, cioè il singolo operatore dichiara le ore su un modulo preimpostato. Alla sera il capo reparto raccoglie tutti i moduli compilati e inserisce i dati a sistema. La documentazione che arriva agli operatori al momento è dunque carta, o meglio carta "in ottica Lean" in quanto organizzata in dei carrelli dedicati alla singola macchina e alla singola fase. Pertanto, l'operatore sa che oggi dovrà svolgere questa operazione sulla macchina A, questa sulla macchina B, ecc. I disegni, perciò, l'operatore li trova su carta già divisi sia per macchina che per fase. Stiamo valutando ormai da tanto di dotare gli operatori di tablet o di schermi sia per la consultazione dei disegni, sia per la dichiarazione delle loro attività. Ciò che ci sta bloccando, purtroppo, sono gli spazi e le dimensioni dei disegni. Tanti disegni sono in formato A0, quindi di dimensioni notevoli: se un operatore deve zoomare, non è così facile seguire la linea che per esempio rappresenta un tubo di collegamento. Questo richiederebbe di mettere uno schermo grande a terra, ma, così facendo, risulterebbe visibile solo se l'operaio lavora da una parte della macchina. Viceversa, se lavorasse dall'altra parte, lo schermo non sarebbe più visibile. Inoltre, dovremmo introdurre tanti schermi quante sono le macchine, rendendo l'investimento estremamente ingente. In aggiunta, bisogna considerare le annotazioni che gli operatori fanno al momento su carta o sul disegno in carta di cui sono provvisti. Esistono dei software che consentono, una volta visualizzato il disegno, di salvare le annotazioni, ma sono tutti progetti che richiedono tempo e risorse. Ad ogni modo, il problema principale resta capire l'hardware da usare: il tablet ci appare piccolo per i disegni, mentre il monitor ci appare troppo oneroso per le quantità. In reparto ci sono comunque dei monitor dove periodicamente vengono mostrati, ad esempio, alcuni tipi di difettosità, le date delle riunioni, ecc. Però, purtroppo, per vedere in diretta quello che sta accadendo non disponiamo di alcun sistema. È un tema molto grosso sul quale ci stiamo ragionando, ma ancora non posso dire che stiamo seguendo una strada.

Per quanto riguarda i setup, essi hanno un grande impatto sulla vostra produzione?

No, alcun impatto.

Utilizzate qualche strumento statistico per il controllo della qualità?

Purtroppo no, non monitoriamo neanche le cose più banali quali media, varianza o altri parametri standard. Non so se esiste un pezzo che produciamo cento volte all'anno e, di conseguenza, un approccio statistico che

coinvolge esperti non è presente nella nostra azienda. Monitoriamo invece la ricomparsa di eventuali difetti, così da gestire le azioni correttive.

Cambiando brevemente discorso, per quanto riguarda la gestione del rapporto con il cliente, avete spesso uno scambio di feedback? Come è gestita questa relazione?

Dopo la vendita, entra in gioco un dipartimento di assistenza tecnica, che nel nostro settore è molto importante in quanto il fermo cantiere costa molto a causa delle grosse penali se viene bloccato il contratto e anche a causa delle ore di lavoro perse per gli operai. Pertanto, il rapporto col cliente dopo la vendita rimane abbastanza intenso, anche perché l'operaio dell'azienda cliente che lavora alle macchine conosce queste macchine sempre meno. Una volta veniva selezionato l'uomo migliore e gli veniva data in mano la macchina da un milione di euro, mentre adesso il parametro che guida la scelta è lo stipendio: meno costa l'operaio, meglio è. Come dicevo prima, l'assistenza tecnica prevede gente in ufficio che risponde alle telefonate dei clienti, ma abbiamo anche tecnici che vanno direttamente dal cliente per l'avviamento o per la manutenzione delle macchine. Un altro aspetto molto importante è la gestione dei ricambi e anche qui siamo in stretto contatto col cliente: la ricambistica, infatti, rappresenta un business molto interessante e profittevole. Capita sempre più spesso che alcuni clienti tornino in rapporto con noi non solo per comprare macchine nuove, ma anche per richiedere delle modifiche ad alcune macchine comprate sempre da noi magari anche 10 o 20 anni prima. Perciò, il nostro ufficio tecnico riceve molte richieste di questo tipo e cerca di trovare sempre la soluzione migliore per ogni esigenza.

La vostra azienda opera in un contesto dove la variabilità è molto elevata. Di conseguenza, per far fronte a ciò, avete mai applicato la standardizzazione o modularizzazione di qualche componente? Oppure, avete una piattaforma standard su cui poi costruire un ampio range di macchine?

Questo argomento è davvero un mio "crucchio" e sto spingendo moltissimo in questa direzione, anche perché io stesso ho fatto dei corsi dedicati e ho trascinato in questi corsi anche diversi progettisti. A malincuore, vi devo dire che stiamo applicando poco il concetto di standardizzazione o modularizzazione, nonostante pensi che nel nostro settore o in settori analoghi esso sia non solo applicabile, ma rappresenti la chiave di volta per diversi aspetti. Poi c'è invece buona parte dell'azienda che non la ritiene così. Molte persone ritengono che per una macchina nuova, anziché dedicarci 20 giorni di progettazione per creare una struttura modulare, sia meglio dedicarci 10 giorni di progettazione così da ridurre il tempo. Il problema, però, è che la volta dopo lo devi rifare da zero: se guardi a domani mattina l'approccio modulare non conviene mai. Il grosso timore, nella nostra azienda, è il fatto di cambiare completamente la macchina immediatamente dopo il processo di modularizzazione. A causa di questa paura, infatti, non si fa neanche il primo passo. Comunque, un gran bel traguardo l'abbiamo raggiunto su una parte abbastanza importante di macchina in cui abbiamo sfruttato proprio l'approccio modulare e proprio adesso stanno uscendo le prime macchine con questa parte. Penso

che darà grossissimi frutti e che potremmo estendere tale approccio a molte altre componenti. Io sono stato in visita in Porsche un po' di anni fa, e lì parlano di tre tipi di standardizzazione o modularizzazione: la prima è quella considerata standardizzazione per eccellenza, cioè l'utilizzo dello stesso pezzo (stesso codice) su due macchine diverse. Nel secondo tipo, invece, lo stesso pezzo è percepito in realtà come diverso dai clienti. Ovvero, nella standardizzazione di tipo 1 il pezzo è anche uguale alla percezione dei clienti, mentre nella 2 è diversa la percezione del cliente, nonostante appunto il pezzo sia uguale. La standardizzazione di tipo 3, invece, è la standardizzazione di concetto o di forma. I componenti da montare sono diversi, ma l'operatore che li monta quasi non se ne accorge in quanto esegue sempre lo stesso tipo di movimento. Perciò, modularità e standardizzazione sono due concetti fondamentali e per le parti in cui le stiamo applicando sono convinto che avremo grossi risultati.

A livello aziendale, esiste qualche premio per gli operatori che raggiungono le migliori performance?

Si abbiamo dei premi, ma con tristezza dico che è il sistema di assegnazione è poco meritocratico. Esso è frutto di contrattazioni aziendali di secondo livello, perciò un accordo globale tra azienda e persone che lavorano in azienda. Ad ogni modo, i premi sono legati a parametri oggettivi quali tempo macchina, assenteismo, ore indirette che vi citavo prima, EBITDA. Sarebbe interessante legarli a parametri del singolo o della squadra.

Ci ha parlato proprio adesso di squadre di lavoro. Nella vostra azienda è presente qualche forma di team working?

Sì, abbiamo degli incontri periodici. Personalmente, ho incontri periodici con l'assistenza tecnica ogni settimana in cui si analizzano le non conformità emerse, cosa è emerso dal cantiere. Abbiamo poi delle riunioni settimanali di sincronizzazione con l'ufficio acquisti e delle riunioni periodiche con i reparti dove si discute dell'andamento generale. Sul campo, ad una macchina spesso gli operatori non lavorano da soli, ma sono presenti due o tre persone in contemporanea. Viene spesso coinvolto anche il progettista che spesso è in fabbrica. Quindi, in conclusione, non è raro trovare ufficio tecnico, ufficio produzione e operaio di produzione insieme.

In merito alla manutenzione, avete un sistema di TPM?

Per esempio, se consideriamo l'impianto di verniciatura, abbiamo una check-list di azioni che il responsabile dell'impianto di verniciatura ogni mattina deve svolgere. Ma ci sono anche alcune task settimanali e altre addirittura semestrali. In generale, abbiamo la fortuna di avere alle macchine utensili operatori molto validi dal punto di vista degli anni di esperienza e di conoscenza della macchina. Di conseguenza, appena avvertono un'anomalia, interrompono le operazioni e non corriamo il rischio di danneggiare ulteriormente la macchina.

Se parliamo di attrezzatura di sollevamento o di carriponte, questi hanno controlli mensili, semestrali, trimestrali svolti da aziende interne o esterne. Tali controlli vengono documentati e verbalizzati. Abbiamo dunque tutto il sistema di taratura degli strumenti sotto controllo. Le infrastrutture di sollevamento come i carriponte, inoltre, hanno check-list con controlli tra l'altro previsti per legge.

Durante la fase di progettazione vengono coinvolte altre funzioni o reparti aziendali?

Dipende molto dal progettista. La formalizzazione della cosa è molto limitata, quindi è un aspetto sul quale si sta lavorando. Ad ogni modo, in alcuni casi c'è collaborazione non solo tra i vari enti aziendali, ma anche con chi monta proprio la macchina. In altre occasioni, viceversa, per questione di fretta di progettazione o perché qualcuno è meno incline a mettere in discussione il progetto, questa collaborazione avviene meno. Perciò, non c'è un percorso formale che prevede una validazione da parte della produzione o un feedback con un giro.

Per concludere, siete complessivamente soddisfatti dei risultati ottenuti in seguito all'adozione delle pratiche lean?

Assolutamente sì. Tutte le pratiche che abbiamo adottato sono risultate utili e vorrei applicarne di altre. Si tratta però di una battaglia molto grossa, infatti ho dovuto personalmente discutere apertamente con figure aziendali di alto livello. Io ho insistito, ho perseverato, ho rischiato tanto e ho anche fatto delle foto a postazioni in cui è possibile vedere il confronto tra gestione con principi lean e senza. La nostra proprietà di certo è molto abile a tenere sotto controllo l'azienda dal punto di vista gestionale e finanziario, mentre altri concorrenti stanno soffrendo tuttora da questo punto di vista. Ad ogni modo, se ci fosse una maggiore spinta dall'azienda, i vantaggi sarebbero maggiori e oseremmo un po' di più. Ogni nuovo investimento è un salto nel buio e personalmente sono sempre pronto a osare.

Case study 4

- Interviewers = Saverio Albanese and Amedeo Pellegrini
- Referent = Company Chairman
- Date: 15/07/2021
- Recording time: 59' 11''
- Modality: meeting Teams

Per iniziare, le vorremmo chiedere di farci un'introduzione dell'azienda in termini di fatturato, numero di dipendenti, settore e competitors.

L'azienda è nata nel 1970 ed era una piccola realtà artigianale fino agli anni 90, poi è cresciuta. Negli anni 90 ha infatti identificato bene anche un po' la sua tipologia di business, e quindi abbiamo iniziato un percorso che ci ha portati a fare automazione di impianti per sistemi di dosaggio (in genere polveri e liquidi). E' cresciuta poi è la consapevolezza di aver acquisito un know-how applicabile anche in altri settori, e quindi la possibilità di diversificare il portafoglio per diminuire il rischio. Questo ci ha portati ad investire in settori tipo gomma, cosmesi, alimentari, ecc. Ad ogni modo, XXX oggi fattura sui 18 milioni di euro, e i dipendenti sono all'incirca 130. L'azienda utilizza solo risorse e dipendenti diretti, nessun consulente, artigiano o forma di subappalto. Ha una sede operativa a Shangai, una in Turchia e adesso abbiamo aperto una società anche in America, che però deve ancora partire. In Turchia, invece, la sede è operativa da molti anni: è stata la prima, e abbiamo un dipendente per fornire un supporto di assistenza, quindi tecnico di assistenza. E allo stesso modo in Cina abbiamo circa 8 dipendenti, di cui una contabile che gestisce anche un magazzino di ricambi e tecnici per fornire assistenza in loco. Abbiamo un ciclo produttivo verticale, nel senso che tutta la progettazione meccanica, informatica ed elettronica è realizzata internamente. A livello produttivo vero e proprio pure, in quanto ci appoggiamo all'esterno solo in caso di eccessivi carichi di lavoro, per lavorazioni molto specifiche e per tutti i trattamenti di finitura.

La parte che il cliente può customizzare costituisce un'alta percentuale del valore del prodotto?

Noi forniamo delle soluzioni, quindi il cliente ci pone solo le sue problematiche. In pratica ci dice qual è la sua produzione, quante macchine, qual è la produzione di sacchetti o di chili nel settore della gomma, ecc. Ci danno quindi degli elementi a livello produttivo, e su questi noi dobbiamo formulare un'offerta. Il 90% si svolge pertanto così. E questa è la parte normale del lavoro di configurazione dell'impianto. Poi nei settori extra-tessile, e soprattutto in quello della gomma e alimentare, abbiamo dovuto adeguarci, e ci stiamo tuttora adeguando, seppur con notevoli difficoltà. Quindi, per rispondere alla vostra domanda, noi cerchiamo di fare un'analisi del fabbisogno dei nostri clienti, e gli configuriamo di conseguenza la soluzione.

In generale, applicate internamente qualche pratica lean? Esse possono essere molto molto varie, dal cartellino kanban per le minuterie a un sistema di gestione dei fornitori just in time, piuttosto che la modularizzazione del prodotto e altro ancora.

Le esigenze ci hanno già spinto in questa direzione, poi però è anche vero che ci troviamo a non sapere neanche come viene chiamato quella specifica tecnica. Innanzitutto, avendo un ridotto volume produttivo, la strategia che abbiamo applicato è stata quella di utilizzare i componenti su più macchine, per riuscire ad avere dei lotti minimi che abbassassero il costo dei componenti. Avremmo voluto anche applicare il just in time, è impraticabile in quanto non siamo una catena produttiva con n subfornitori dove loro svolgono un tipo di lavorazione e io completo quella. Noi lavoriamo su commessa, quindi è come se voi decideste di costruire una casa e mi diceste: "definiamo come fare il progetto". Io, magari, vi propongo il progetto in base ai componenti che ho già realizzato, ma poi c'è sempre una serie di cose che devo costruire in modo specifico. Questo porta quindi ad avere una diversa politica di gestione per i componenti già realizzati, perché ovviamente sono delle piccole serie, mentre tutto il resto viene fatto dopo una specifica analisi. Perciò, dopo aver definito il progetto per quella commessa in funzione dell'MRP e del suo fabbisogno, effettuiamo gli acquisti che servono: diventa però sempre più una corsa contro il tempo in quanto devi gestire la fase di discussione ordine, la definizione delle analisi, ecc. E per la produzione vera e propria rimane sempre poco tempo.

Nel rapporto con i fornitori ci ha detto che il just in time è impraticabile. Ad ogni modo, esiste un sistema di feedback verso tali fornitori? Essi sono coinvolti nella progettazione dei vostri prodotti?

In generale, ho sempre cercato di portare tutte le competenze all'interno dell'azienda. Ad oggi, quindi, al 99% riusciamo a produrre tutto all'interno proprio per permettere alla progettazione di non richiedere la consulenza da parte dei fornitori. Questo perché, per un prodotto come il nostro, la collaborazione sarebbe chiaramente inquinata dalla loro convenienza. Ad ogni modo non posso dire che il fornitore non è mai coinvolto, perché ad esempio la gomma non la produciamo, e se quindi necessiti di una guarnizione di un certo tipo è ovvio che richiedi la collaborazione e la consulenza del fornitore. Sicuramente negli anni il rapporto con i fornitori si è saldato sempre di più. Infatti, se vent'anni fa era un discorso di pura convenienza, ad oggi c'è una ricerca dell'affidabilità, della qualità della fornitura. Poi aggiungo un'altra cosa: apportare una modifica ad un prodotto o ad un progetto ha un costo incredibile. Abbiamo talmente tanta documentazione che la revisione di un componente la fai solo se obbligato. E per questo la componentistica non cambia così facilmente.

In merito invece alla pianificazione della produzione, avete necessità di calcolare un takt time? Applicate qualche tecnica per ridurre i tempi di setup? O ancora, livellate la produzione?

Per rispondere vi farei una panoramica su come è organizzata l'azienda dal punto di vista del prodotto. Quest'ultimo nasce chiaramente dalle esigenze che tu cerchi di interpretare dal mercato, e nel tempo riesci a essere sempre più sensibile a questi aspetti. Noi abbiamo un ufficio progettazione che, come vi dicevo, progetta tutto: dal programma software, programma PLC, quadro elettrico e parte meccanica. Un ruolo chiave è giocato chiaramente dalla parte meccanica, in quanto è quella che deve meglio interpretare la movimentazione delle cose. E poi segue tutta la parte di automazione, per cui il progetto viene fatto con un CAD tridimensionale, a cui viene affiancato un PLM/PDM della Siemens... voi sapete cos'è un PDM o un PLM?

Immagino sia qualcosa per gestire i disegni, ma non conosco il suo funzionamento.

Voi dovete pensare che, quando si progetta in modo tridimensionale, è come se vedeste un insieme a tutti gli effetti. Quindi, se ho una scatola, un perno, un cuscinetto o un albero, tutti questi sono dei file, tridimensionali con specifiche. Il PLM o PDM serve proprio per mantenere i collegamenti tra tutti questi file. Da questo cosa scaturisce? Che se io ho costruito tridimensionalmente una macchina o un assieme, il PDM è in grado di dirmi quali sono i componenti che ho utilizzato su quell'assieme. Dopodiché, ho pertanto una distinta di design, e questa diventa una distinta di item di magazzino che viene riportata sul gestionale. Cosa succede quindi di solito? Normalmente arriva un ordine e l'ufficio tecnico, che non è la progettazione, prepara e configura le macchine. Da questo nasce quindi il fabbisogno dei componenti e del materiale per produrre quella commessa, ed è poi il gestionale a lanciare l'MRP: il gestionale vede cosa c'è a magazzino e, eventualmente, dà il via all'approvvigionamento o alle richieste di produzione. A questo meccanismo abbiamo affiancato tutto un sistema di rilevazione dei tempi, quindi un MES. Abbiamo messo su ogni postazione di lavoro dei terminali dove l'operatore si trova l'elenco delle lavorazioni che deve fare e dove imputa i tempi. Ad oggi siamo in questa fase, e questo ci dovrà permettere in futuro di avere dei dati con i quali poi effettuare una pianificazione o una schedulazione. Schedulazione che oggi avviene grazie all'esperienza delle persone che abbiamo, e quindi tutto lo storico registrato su fogli di Excel o foglietti di carta. Dopo l'MRP, vi è la selezione di tutti i fornitori siccome l'ufficio acquisti si trova l'elenco di tutto il fabbisogno. Il magazzino, in parallelo, riceve anche un elenco dei componenti da portare e da preparare per l'assemblaggio. Chiaramente, l'esperienza dei capi officina risulta essere molto importante proprio perché non abbiamo ancora uno schedatore o un pianificatore che si basi su tempi certi.

Sempre per quanto riguarda la produzione, voi disponete quindi di un reparto interno che realizza dei componenti. Proprio per questo reparto, voi avete una politica di manutenzione strutturata?

No, non deve vederci come una Fiat. Non dovete vedere la mia azienda come una realtà che produce 24 ore su 24: noi abbiamo dei turni di 8 ore al giorno, e le lavorazioni sono talmente differenti e a piccoli lotti che

magari gli operatori attrezzano la macchina due o tre volte al giorno. E come potete ben capire, questo fa sì che non sia possibile fare una manutenzione preventiva. Diciamo che nelle nostre dimensioni, quindi, l'ottimizzazione dei processi che coinvolgono le macchine utensili non ha alcun senso.

Esistono sistemi di gestione visiva o per incrementare la visibilità sul processo? Come, ad esempio, dei semplici nastri per terra per delimitare le aree o tabelloni dove viene riportato l'andamento dei lavori.

Immagino non abbiate visto alcun filmato dell'azienda, vero?

Purtroppo no.

Sebbene adesso sia da un anno che c'è un cantiere in quanto abbiamo raddoppiato la superficie produttiva, la gestione visiva è sempre stato un po' il nostro fiore all'occhiello. Intendo che tutto è ben delimitato, così da identificare le varie aree. Come vi dicevo, ci sono dei terminali MES dove gli operatori trovano tutte le indicazioni per poter produrre. Inoltre, ci sono dei grandi monitor in tutte le aree collegati con il CAD 3D dove, solo in modalità di lettura, gli operatori richiamano la macchina a livello tridimensionale.

Per la gestione della qualità, invece, sia dei componenti che del prodotto finito, esistono dei parametri di riferimento o un'analisi statistica?

Purtroppo no, ma ci stiamo lavorando. Ad ogni modo, un'azienda che opera da diversi anni non può non monitorare la qualità, perché se no non venderebbe già la seconda macchina. Diciamo che ho ritenuto opportuno partire da un laboratorio, ed è quindi da un anno e mezzo che abbiamo realizzato una camera metrologica con una macchina automatica, e stiamo acquistando una serie di strumenti di misura per poter appunto controllare la qualità dei componenti in uscita dalla produzione oppure in entrata a magazzino dai fornitori. Così da poter arrivare alla fase di assemblaggio senza problematiche a livello di qualità dei componenti. A livello invece della qualità dell'intera macchina venduta, è già l'operatore a poter fornire delle stime. Infatti, se si assemblano dei componenti egli può capire se un accoppiamento è troppo "morbido" o "duro". E in ultima istanza fai un collaudo per alcune macchine piccole, o messa in servizio e collaudo per altre più grandi. Inoltre, abbiamo dei costi a livello di assistenza molto elevati, in quanto i costi per fare interventi di assistenza sono altissimi: serve anticipare, e noi stiamo investendo in questa direzione.

Per quanto riguarda il vostro reparto macchine, è diviso in reparti?

No, siamo molto piccoli. Macchine utensili è un reparto unico suddiviso in due torni tradizionali con un operatore solo, due torni a controllo numerico, 2 frese a tre assi e una fresa a cinque assi. Poi, ovviamente, ci sono altri piccoli macchinari. Possiamo essere come l'officina che un uomo può farsi a casa sua, nel senso che non c'è una persona per ogni macchinario. Poi, per la produzione, abbiamo due grandi magazzini

automatici: uno per profilati, quindi tubi, tubolari, piatti, angoli e altro, e un altro magazzino molto grande per le lamiere (noi siamo molto l'acciaio inox). Il primo serve porta nella baia di uscita direttamente il cassetto contenente la materia prima che serve, dove il 90% va direttamente su un o roto laser, ovvero una sistema che garantisce una precisione eccellente. L'altro magazzino, poi, funziona in modo molto simile. Alla fine, hai quindi i componenti che, arrivando dai due magazzini, confluiscono nel reparto carpenteria dove vengono saldati e messi assieme. Poi dalla cameretta vanno alla finitura, quindi può essere acciaio inox che va in sabbiatura o se è ferro può andare in verniciatura piuttosto che in zincatura. E così si produce internamente il pezzo finito, i quali verranno assemblati con quelli che invece acquistiamo dal mercato. Il magazzino, quindi, nel momento in cui è pianificato l'assemblaggio, riunisce in un'area queste tre tipologie di componenti (carpenteria, componenti dall'esterno e componenti prodotti internamente) e li raggruppa in modo tale che siano facilmente identificabili partendo dal disegno di assemblaggio.

Quindi, se non ho capito male, parte della qualità è data dall' assemblatore che verifica che il componente assemblato sulla macchina abbia il giusto gioco. Similmente, l'esperienza dei vostri operatori può essere sfruttata anche in fase di progettazione?

Per me è sempre stato importante che gli assemblatori, e questo vale per tutti, diano riscontro di quello che vedono, e quindi se hanno suggerimenti per migliorare le cose... nel senso che ci deve essere quel clima di collaborazione: più c'è sintonia tra le cose e più le cose funzionano. Guai non ci fosse!

Parlando sempre della forza lavoro, io immagino che per montare un macchinario o un impianto come il vostro bisogna lavorare in squadra. Corretto?

Ci sono diverse fasi. Se lo guardiamo in modo generico è un lavoro di squadra, e c'è anche da dire che un macchinario è composto da tanti sottogruppi, che in realtà vengono montati a "livello piccolo". C'è quindi chi fa una parte chi ne fa un'altra, e poi c'è un momento in cui serve essere in più di uno per diversi motivi, come per esempio se il pezzo da montare è davvero ingombrante. È un continuo evolversi: da solo, poi in 2, 3 o 4, poi di nuovo da solo, ecc.

Un operatore può svolgere più compiti o è specializzato esclusivamente nella sua mansione?

Ci sono diversi reparti. Nel reparto macchine utensili ognuno fa il suo. Nel discorso lamiera, allo stesso modo, chi lavora sul laser piano è sempre il solito, come così chi piega ecc. Poi ovviamente l'abilità del responsabile del reparto è quella di conoscere i propri collaboratori, e quindi capire se uno è più lento e più preciso o piuttosto più rapido e quindi adatto per i lavori grossolani. E in base a questo viene distribuito il lavoro. Nell'assemblaggio, visto che abbiamo tanti tipi di macchine, abbiamo dovuto separare. Una cosa che non vi ho detto è che, da qualche anno, alcune parti dell'azienda a livello di ufficio tecnico e a livello di installazione sul posto sono divise in due. Una prima parte è tutta la produzione legata al tessile, mentre la seconda si

concentra sull' extra-tessile. Questo perché, essendoci tante variabili, sarebbe stato possibile portare avanti la formazione e l'aggiornamento continuo degli operatori. Di conseguenza, per esempio, chi monta le macchine per il settore alimentare non è coinvolto nell'altro settore. Questo non vuol dire che se non c'è lavoro in un settore e l'altro è carico non si fa niente. Ad ogni modo questa partizione consente, soprattutto per produzione come le nostre, il coinvolgimento diretto di persone a cui fornisci un certo tipo di formazione.

Cambiando discorso, saremmo interessati al vostro rapporto col cliente, soprattutto nel post-vendita. Infatti, una volta che è stato consegnato il prodotto, come vengono mantenuti i contatti? Ci sono alcune peculiarità per ogni specifico settore?

Innanzitutto, ci tengo a sottolineare che non esiste alcun prodotto per cui il nostro ciclo produttivo finisca con la spedizione e la fatturazione: c'è sempre l'intervento di installazione, l'intervento di messa in funzione, e a seguire la messa in produzione. Poi, ogni macchina può ricevere assistenza da remoto tramite specifici software. Il primo anno si tratta di un'assistenza che forniamo gratuitamente, dopodiché, alla scadenza, proponiamo dei contratti al costo di abbonamento, i quali prevedono una serie di aggiornamenti a livello software gratuiti e la possibilità di collegarsi in remoto per diagnosticare eventuali problematiche.

Da un punto di vista del miglioramento continuo, ci sono stati magari casi in cui è stato il singolo operatore a promuovere o a dare qualche idea di miglioramento anche a livello proprio strutturale?

Sì, mi sembra quasi scontato. Secondo me, un manager che non sa ascoltare le persone con cui collabora non è un vero manager. Il suo ruolo è quello di ascoltare tutto e avere voglia di discutere in modo sincero, creare un rapporto costruttivo con i collaboratori a tutti i livelli. Io conosco per nome tutti i dipendenti, anche se diventa sempre più difficile vederli tutti i giorni... anche perché credo che sia proprio un valore aggiunto il coinvolgimento. Questo non vuol dire però, e lo dico sempre ai ragazzi, che voi mi dite le cose e io le faccio: ne discutiamo e sarò poi io a decidere quello che è giusto fare. Io ho bisogno degli altri e gli altri hanno bisogno di me.

In media, in un anno, quanti impianti o macchine produce? Inoltre, come è diviso il mercato? Ricevete più richieste dall'estero o dall'Italia?

Parto dall'ultima perché è più facile. Più estero, con punte che sono arrivate a superare il 90%. Nonostante ciò, nell'ultimo periodo, un po' per incentivi e per agevolazioni, c'è stato un risveglio a livello d'Italia e d'Europa. La percentuale, attualmente, potrebbe quindi essere 70/75% estero, che rimane quindi sempre una quota molto alta. Per la prima domanda, invece, nel tessile gli impianti di grandi dimensioni sono 10 o 12 all'anno, mentre gli impianti più piccoli sempre nel tessile arrivano a 40 o 50. D'altro canto, nei settori extra-tessile circa una trentina. È molto variabile ad ogni modo... c'è una variabilità a livello di tipologia che non ci permette di dire: "quest'anno faremo tante macchine di queste, tante di quelle, ecc.". Ecco, un

elemento che posso ulteriormente fornirvi è che il fatturato precedente di 18 milioni possa arrivare a 20 quest'anno. Considerate che l'impianto che costa meno si aggira sui 100 mila euro, poi ci sono anche impianti completi da un milione e mezzo o due milioni di euro.

Nel momento in cui arriva l'ordine, voi avete già realizzato parte del prodotto che venderete? Basate quindi la produzione anche su un minimo di previsione o parte tutto nel momento in cui arriva la commessa?

L'80% delle commesse è fatto con un minimo di previsione, mentre per un 20%. Ci sono impianti per cui i componenti che hai già in magazzino contano per il 50% della commessa. In altri invece contano l'80%, diciamo dal 30 all'80%, giusto per darvi un'idea.

Case study 5

- Interviewers = Saverio Albanese and Amedeo Pellegrini
- Referents = Industrial Engineering Manager and HR Business Partner
- Date: 23/07/2021
- Recording time: 73' 07''
- Modality: meeting Teams

Potrebbe introdurci brevemente l'azienda? Il vostro settore, grandezza, competitors, etc.

Certamente. Innanzitutto, io sono un responsabile dell'industrializzazione dello stabilimento di Parma e ho iniziato a lavorare qui soltanto da novembre. XXX è un'azienda tedesca, ma con un'anima molto italiana. È stata infatti fondata dal signor \$\$\$ negli anni '60 e inizialmente era solo un rivenditore di componentistica per ascensori. Dopo qualche anno, l'azienda ha deciso di avviare anche una propria produzione e la prima sede produttiva è stata realizzata a Parma. L'azienda è poi cresciuta molto nel corso degli anni e sono stati costruiti diversi stabilimenti in tutto il pianeta. Siamo infatti presenti in tutti i continenti, sia commercialmente che dal punto di vista produttivo, e siamo complessivamente circa 5000 dipendenti. XXX produce componentistica per ascensori. Un ascensore è un elemento architettonico molto particolare in quanto si tratta di un manufatto meccanico ed elettrico. Noi produciamo principalmente lamierati, quindi elementi in metallo, e poi tutta la parte di elettronica quali sicurezze e altro. Non tutti gli stabilimenti di XXX producono gli stessi prodotti. In particolare, qui a Colorno (Parma), siamo specializzati nella produzione di porte per ascensori. Le porte per ascensori sono formate da diversi elementi, ovvero anta e stipiti, quindi

montante destro, montante sinistro, la traversa superiore e la soglia. Perciò, molto semplicemente, si tratta di una porta con le ante in mezzo e con una cornice metallica attorno. Oltre a ciò, sempre qui a Colorno, produciamo operatori e sospensioni, che sono quei meccanismi che vengono messi o al di sopra o al di sotto della porta per azionare il movimento delle ante. Sono quindi degli elementi meccanici azionati da un motore. Inoltre, in questo stabilimento di Colorno, abbiamo avviato quest'anno la produzione della cabina dell'ascensore comprensiva di tutta la struttura principale che supporta la cabina stessa. Questi sono quindi i prodotti principali che realizziamo qui. Poi, a seconda del mercato e della specializzazione delle sedi produttive in tutto il mondo, il parco prodotti è leggermente diverso nei vari stabilimenti del gruppo. Per esempio, l'Austria produce tutta la componentistica elettromeccanica, quindi le sicurezze, il freno di discesa dell'ascensore e schede elettroniche che vengono poi spedite nel resto del mondo e montate per esempio sugli operatori e sulle sospensioni. Anche quando parliamo di “porte” non esiste un solo tipo di porta, bensì tanti modelli, diversi a seconda dello stabilimento in cui in cui li produciamo: un po' per richiesta dei singoli clienti, un po' per le caratteristiche generali del mercato. Ad esempio, in India o in Cina, il mercato richiede principalmente prodotti a bassissimo costo, e di conseguenza si parla di tecnologie meno avanzate e di maggiori volumi. Viceversa, in Italia siamo specializzati nell'accogliere richieste e personalizzazioni più difficili, ossia che richiedono un know-how maggiore. Si parla di volumi sicuramente molto più limitati rispetto che in altri stabilimenti. Volumi però non “in totale”, bensì relativi alla singola famiglia di prodotto.

Dunque, voi realizzate l'ascensore interamente sulla base delle specifiche fornite dal cliente?

Sono presenti diverse linee di business. Ci sono innanzitutto le grandi multinazionali che possono essere Shindler, Otis, Kone o Thyssenkrupp, che sono le quattro “big” e che ovviamente gestiscono il mercato da padroni. Noi siamo loro fornitori e spesso il design dei prodotti arriva da loro e noi siamo semplicemente i produttori dei loro disegni. Questo non è però necessariamente vero, in quanto nel momento in cui si crea nuovo prodotto c'è sempre l'R&D XXX locale che ovviamente si interfaccia con il cliente per richiedere eventuali modifiche del prodotto. I disegni che noi utilizziamo in produzione sono comunque marchiati XXX e non con il nome del cliente. Quindi è sempre presente anche una fase di engineering, ma molto spesso il design arriva dal cliente. Un'altra linea di business è costituita dai clienti un po' più piccoli, come per esempio un costruttore italiano che deve realizzare un grattacielo di 4/5 piani. A questi clienti noi possiamo fornire lo stesso prodotto venduto alle multinazionali, oppure anche lo stesso prodotto ma con delle customizzazioni. Pertanto, all'interno della stessa linea di prodotto, è possibile trovare un prodotto completamente standard e un prodotto parzialmente customizzabile. Nello specifico, ci sono due livelli di customizzazione: bassa customizzazione, quando per esempio viene richiesta una soglia leggermente più piccola o leggermente più grande rispetto allo standard. Si tratta quindi di semplici modifiche dove cambia uno o pochi componenti. Oppure il livello di customizzazione può essere più elevato e dunque prevedere un parziale ri-design del prodotto standard. Parallelamente a queste customizzazioni, è presente il vero e proprio custom, ossia

prodotti completamente ad hoc gestiti con un approccio project-based. In questi casi speciali non esiste standardizzazione, il manufatto è uno solo. E la sede italiana è padrona in questo, cioè produciamo prodotti standard e prodotti standard customizzati, ma siamo specializzati in quello che è veramente ad hoc. Non esagero a dire che quando arriva una richiesta molto particolare da un qualunque cliente in tutto il mondo alla fine la commessa arriva proprio qui in Italia.

Quindi da Cologno servite sia l'Italia che l'estero. Corretto?

Esattamente. La maggior parte delle richieste provengono dai piccoli clienti locali, che richiedono customizzazioni sul territorio italiano, ma serviamo anche parte del mercato europeo. Forniamo prodotti in Francia, in Germania e in Austria. Ad ogni modo, per esempio in Spagna, abbiamo un altro stabilimento ed è quindi normale che in Spagna i piccoli clienti si appoggino allo stabilimento spagnolo. Poi forniamo il Medio Oriente e paesi arabi, e in questo caso i prodotti richiesti sono quasi totalmente standard, quindi privi di customizzazione. Infine, come dicevo prima, realizziamo commesse project-based in tutto il mondo ed è con orgoglio che dico che l'ascensore dell'Apple Store di New York è stato costruito proprio da noi.

A New York stiamo costruendo un ascensore panoramico esterno al One Vanderbilt la cui cabina presenta il basamento trasparente. Verrà inaugurato a luglio o comunque inizio agosto. Inoltre, anche l'aeroporto del Kuwait è un nostro cliente. Perciò, nonostante le dimensioni non enormi, realizziamo cose incredibili.

Per concludere, un altro business molto redditizio è ciò che noi chiamiamo "modernizzazione". Significa prendere un ascensore installato magari quarant'anni fa e ridargli nuova vita. In realtà, non gli diamo nuova vita modificando per esempio i pannelli in metallo, ma semplicemente aggiorniamo il meccanismo che muove le porte. Spesso non è un lavoro semplice in quanto operatori e sospensioni sono tipicamente legate al tipo di porta su cui vengono montati. Infatti, una porta di un competitor o nostra ma di molti anni fa è costruita con concetti completamente diversi. È dunque obbligatoria una fase di analisi in loco e un successivo ri-design della sospensione o operatore che verrà poi sostituito nell'impianto già installato.

Cosa vi ha spinto ad introdurre una politica di Lean manufacturing?

Bisogna andare indietro nel tempo, quando io non ero ancora in azienda. Circa 15 anni fa, per necessità legate all'efficienza dello stabilimento, è stata richiesta consulenza a Porsche Consulting per cambiare il metodo di lavoro all'interno dell'azienda e orientarsi alla Lean. È stato realizzato un training molto approfondito ad alcune importanti figure, tra cui l'attuale plant manager, e sono stati quindi introdotti in azienda i concetti principali della Lean e del kaizen. Allo stato attuale delle cose, all'interno del team Industrial Engineering abbiamo una responsabile più tre persone dedicate all'ingegneria di processo orientato alla Lean. Si occupano sicuramente del miglioramento continuo all'interno dell'azienda, di risolvere i problemi, di collaborare con la produzione per introdurre piccole modifiche ai fini di ottenere benefici in termini di

produttività, di cost-saving e di innovazione. Nello specifico, queste tre persone comprendono un tempo metodista, un esperto del processo di stampaggio e piegatura e un altro ragazzo che, nonostante si sta specializzando sul packaging, possiede conoscenze trasversali su tutto il processo.

Come applicate i concetti della Lean nella vostra azienda?

Il principale strumento è quello che chiamiamo *kaizen week*. Si tratta di una settimana, a volte due, di workshop a cui partecipano figure appartenenti a diverse funzioni aziendali. Sicuramente sono sempre presenti Industrial Engineering e produzione, ma tipicamente richiediamo che sia presente anche la logistica, la manutenzione e la qualità. Le *kaizen week* vertono su un problema specifico e tentano di approcciarlo a 360°, al fine di uscire dalla settimana con già le soluzioni implementate. Infatti, le persone coinvolte vengono quasi totalmente dedicate al workshop nel corso della settimana. Come è strutturata una *kaizen week*? C'è un primo giorno di training dove vengono presentati i concetti base della Lean, quindi il concetto di spreco, il concetto di 5S, il concetto di standardizzazione, etc. Questo serve per portare "on board" tutte le persone, compresi gli operatori, che sono coloro che lavorano effettivamente e che possono dare assolutamente più valore aggiunto a questo tipo di attività. Poi dal secondo giorno inizia il vero e proprio workshop che prevede un giorno di osservazione/analisi, un giorno di implementazione delle modifiche, un giorno di standardizzazione, o meglio nuova osservazione e standardizzazione per verificare che quello che era stato fatto il giorno precedente sia effettivamente efficace, e poi l'ultimo giorno avviene la presentazione al management e i festeggiamenti. Questo è lo strumento principale che noi utilizziamo. L'altro strumento utilizzato, che non è legato necessariamente alla Lean, ma che comunque è uno strumento di miglioramento continuo, è il *QRQC*, che all'interno dell'azienda è suddiviso su due livelli. C'è il *QRQC* di linea, che comprende dei meeting giornalieri a livello di reparto in cui partecipano tutte le funzioni e dove vengono analizzati i problemi del giorno precedente. In queste riunioni si decide di affrontare soltanto alcuni piccoli problemi, con l'intento di chiuderli nell'arco di ventiquattr'ore. E poi c'è il *QRQC* di stabilimento, che rappresenta in realtà la riunione delle prime linee dello stabilimento. Fondamentalmente è la stessa cosa del *QRQC* di linea, ma a un livello più alto e dove si arriva per esempio alla revisione delle procedure a seguito di malfunzionamenti, di reclami o di ritardi di produzione. Perciò, il *QRQC* è semplicemente un metodo per arrivare strutturalmente a una modifica di un processo. Per concludere, noi al momento utilizziamo questi due strumenti (*kaizen week* e *QRQC*) per il miglioramento continuo.

In merito al rapporto con i fornitori, avete implementato qualche politica per la fornitura just in time dei materiali? Inoltre, cercate fornitori che a loro volta applicano politiche lean?

Esistono diversi livelli di fornitori: quelli che forniscono macchinari e servizi e quelli relativi alla componentistica che poi montiamo sui nostri ascensori. Focalizzandoci su questi ultimi, i rapporti coi fornitori tipicamente sono gestiti dall'ufficio acquisti, qualità e material management. L'ufficio acquisti è coinvolto

all'inizio del processo di sourcing del materiale, in cui vengono definite insieme al fornitore le logiche di approvvigionamento, il prezzo e le macro-tempistiche (ad esempio un delivery time di dieci giorni da ordine). In questa fase viene anche definito, in cooperazione con noi, (Industrial Engineering) come il materiale deve essere imballato e fornito allo stabilimento, e come deve essere gestito il flusso informativo, quindi barcode o tecnologie simili. Il processo prosegue con l'inserimento da parte nostra (Industrial Engineering) di un "trial order", quindi un campione che deve poi essere validato dalla qualità attraverso PPAP, il documento che certifica la validità del prodotto e, di conseguenza, del processo che l'ha generato. Perciò, da quel momento in avanti, il prodotto è fornibile all'azienda. Dopodiché la palla passa al material management, che lavora in funzione degli ordini che ci arrivano. Le politiche di material management sono diverse e noi le utilizziamo tutte. Per esempio, facciamo sourcing su commessa, ovvero arriva una commessa e noi ordiniamo sia il componente ad hoc che quelli standard, i quali vengono forniti dai nostri fornitori direttamente a Kanban. Ci sono poi ordini speciali rispetto a prodotti che normalmente produciamo internamente e che infatti sono impostati sul nostro ERP come ordine di produzione e non come ordine di acquisto. All'occorrenza, però, il material management può decidere di trasformarlo in ordine di acquisto verso un fornitore esterno. Un'azienda che basa il suo processo produttivo sulla Lean dovrebbe avere dei rapporti con i fornitori che lavorano anch'essi in termini di Lean. Questo però sulla carta. In realtà, il panorama industriale italiano è medio-piccolo e un'azienda medio piccola, a meno di eccellenze, non dedica tanto tempo alla Lean. Ciò non significa che non abbiano applicato al loro interno dei concetti di Lean, significa che non possiedono un metodo strutturato di trasferimento del "know-how" lean all'interno dei loro processi. Un fornitore strutturato, soprattutto nel nostro campo in cui non ci sono grandissimi volumi, ha inoltre dei prezzi più alti di un fornitore più piccolo, che è più flessibile e a cui puoi chiedere qualsiasi cosa. Questo perché per un fornitore strutturato dei batch di produzione piccoli sono un costo che si ripercuote sul prezzo finale. Quindi l'ufficio acquisti compie delle valutazioni dei fornitori, ma i driver per la scelta del fornitore restano il prezzo e la qualità dei componenti.

In produzione applicate il concetto di takt time? Avete necessità di ridurre i tempi di setup? Livellate la produzione con strumenti simili all'heijunka box?

Ciò che è completamente su commessa non può essere gestito in questi termini. Invece, tutto ciò che si avvicina allo standard potrebbe essere gestito con questi strumenti. Noi abbiamo su alcune linee delle heijunka box per livellare la produzione; abbiamo poi gli "hour by hour", ovvero dei fogli in cui viene definito fondamentalmente il tempo standard per quel tipo di operazione e l'output giornaliero atteso. Su tale foglio gli operatori aggiornano la produzione effettiva proprio "hour by hour", annotando anche le caratteristiche dei vari ordini. Infatti, si può creare un ritardo a causa di un ordine che richiede dei tempi ciclo differenti e, nonostante l'heijunka box, non si riesce ad ottenere il livellamento desiderato. Infatti, il driver resta il business: se arrivano ordini di un certo tipo e ordini di un altro tipo bisogna comunque realizzarli. Poi abbiamo

un tempomedotista che periodicamente misura e analizza i tempi che abbiamo in stabilimento come il takt time e il tempo ciclo totale, ovvero il tempo di attraversamento della singola linea produttiva. E questi sono poi i tempi riportati sugli hour by hour. In realtà, però, non è così in tutte le aree dell'azienda a causa del tipo di tecnologia. Infatti, il processo che noi seguiamo inizia tipicamente con l'osservazione, ovvero vengono registrati dei video dei processi produttivi. Questi video vengono analizzati al fine di estrapolare i tempi reali senza le perdite. Tali tempi vengono poi confrontati con le MTM, una metodologia che, in funzione delle azioni degli operatori e indipendentemente dal processo reale, definisce il tempo corretto per portare a termine un'operazione. E sulla base di questo confronto viene definito il tempo di riferimento che la produzione deve seguire. Attualmente stiamo discutendo riguardo al problema della customizzazione. Fintanto che abbiamo prodotti standard, la definizione dei tempi ciclo e dei takt time è abbastanza semplice. Se però il 60% dei prodotti standard viene comunque customizzato, allora il tempo ciclo definito per il prodotto completamente standard non è più corretto. E proprio questa è la nostra situazione reale. La direzione verso cui ci stiamo muovendo, soprattutto in certi reparti del nostro workshop, è di definire dei *tempi standard* invece che basarsi sull'MTM. Ossia, visto che non siamo in grado di essere precisi nella definizione dei tempi, soprattutto nelle linee di prodotto che ricevono anche solo una parziale customizzazione, è conveniente definire dei tempi standard. Quindi tempi imprecisi per definizione e suddivisi per famiglie: occorre definire gruppi di prodotti con un takt per esempio di due minuti, altri con un takt di tre minuti, altri con un takt di quattro minuti. Perciò, all'interno di queste famiglie, ci saranno dei prodotti che avranno tempi leggermente differenti, ma comunque vicini a quello standard della famiglia. Tale sistema permette una più facile gestione dei tempi a livello di sistema, a livello di BOM, a livello di ERP, a livello di profitability (cioè trasformazione di quello che è operations in profit&loss) e a livello di preventivo. Permette inoltre una migliore analisi dell'efficienza dello stabilimento in quanto i tempi standard aiutano a tal fine. Tentare di definire i takt reali per ogni famiglia di prodotto e per ogni customizzazione è energia sprecata: ogni volta avremo una customizzazione diversa tutto andrebbe rifatto da capo.

Nel reparto di piegatura e punzonatura applicate delle politiche lean? Per esempio, il Total Productive Maintenance o tecniche affini?

No, da questo punto di vista non abbiamo niente di implementato. Il principale apporto del team Lean in quel reparto è sull'analisi dell'efficienza. Il risultato è qualcosa di non troppo distante dall'OEE, anche se non è un OEE vero e proprio: è semplicemente un'efficienza su cui l'esperto del reparto lavora attivamente. È come se fosse un supporto alla produzione, per mantenere le performance e comunque migliorarle in continuazione.

Parlando di visual management, nella gestione sia della produzione che eventualmente anche della qualità, avete implementato qualche strumento?

Abbiamo diversi strumenti implementati. Abbiamo i totem (noi li chiamiamo così) che vengono utilizzati poi anche per le visite in stabilimento del top management o di clienti, per esempio. Nei totem viene mostrato lo stato attuale dello stabilimento in termini di flussi, di volumi prodotti e di tecniche lean adottate, con anche immagini che raffigurano il prima e il dopo. Abbiamo poi degli altri totem all'interno del workshop che mostrano i progetti di miglioramento e quindi la direzione che si vuole prendere.

Abbiamo anche dei cartelloni che mostrano i diversi team e che servono principalmente per far sentire gli operatori parte dell'azienda. A livello di gestione del processo abbiamo delle QRQC boards, ovvero le tavole davanti alle quali si fa QRQC e sulle quali infatti vengono mostrate le performance dei singoli reparti. Esse sono accessibili a tutti, e le performance sono in termini di qualità, on time delivery, produttività e scarti.

Abbiamo poi gli Andon Boards per il monitoraggio in tempo reale delle performance delle singole linee. In realtà non sono completamente implementati, li stiamo pian piano introducendo. Ci sono anche delle istruzioni visive per gli operatori, ovvero foto che dicono "ok" / "non ok" e che sono state introdotte a seguito di reclami o di non conformità interne. Un'informazione visiva è più incisiva per trasferire le informazioni agli operatori piuttosto che qualcosa di scritto. Infine, all'esterno abbiamo anche un board enorme dove vengono mostrati i giorni di produzione senza infortuni.

Quando si presenta un problema interno o esterno, come lo approcciate? Avete qualche tecnica di root cause analysis?

Sì, usiamo il QRQC. È proprio la struttura del QRQC che ti porta a compiere l'analisi delle cause e a definire azioni di treatment del problema e azioni di contenimento. Poi, in un secondo momento, vengono apportate modifiche al processo per prevenire il problema in futuro.

Per quanto riguarda la progettazione dei vostri prodotti, avete qualche politica di concurrent engineering?

Decisamente sì, come lo fanno anche i nostri competitor. Periodicamente, e quando lo riteniamo necessario, acquistiamo delle porte dei nostri competitor e analizziamo tutti i componenti per capire in che direzione si stanno spostando o se ci sono delle soluzioni tecniche che possiamo implementare anche noi.

Abbiamo detto che i vostri prodotti possono essere standard, customizzati o veri progetti. Tuttavia, tra queste tre categorie, esistono delle componenti e parti comuni standardizzate o modulari?

Per ciò che è veramente custom non abbiamo alcuna standardizzazione, è tutto disegnato ad hoc. Su ciò che è standard o standard customizzato ci sono dei componenti in comune. Tra le diverse linee di prodotto, però, non c'è molta condivisione di parti in quanto linee di prodotto diverse hanno concetti alla base differenti e quindi, tipicamente, la componentistica non è intercambiabile. Allo stesso tempo, però, ci sono politiche a

livello di R&D per uniformare alcuni componenti su diverse linee di prodotto. Non sempre si riesce, ma la tendenza è questa. Vi faccio un esempio: le corde di acciaio su cui vengono montati i pesi che tengono aperta la porta non sono ancora standardizzate, ma è in corso uno studio per ottenere una o al massimo due funi in tutte le linee di prodotto in tutto il mondo. Ad ogni modo, siccome in parte il design arriva dai clienti, non sempre puoi fare questo subito nel momento in cui lanci il nuovo prodotto. E quindi questo è il motivo per cui dopo alcuni anni ci si ritrova ad avere tante varianti dello stesso componente. Un altro aspetto importante è che nel momento in cui arrivano delle customizzazioni, l'ufficio preposto a queste customizzazioni verifica se ci fossero state in passato delle customizzazioni uguali o simili richieste da altri clienti, in modo da evitare un progetto totalmente nuovo.

Coi clienti, una volta effettuata la vendita, come vengono mantenuti rapporti?

I rapporti con le multinazionali vengono gestiti da key account di riferimento. Per quanto riguarda i clienti piccoli è direttamente il marketing, quindi l'ufficio acquisti, che richiede feedback sulla bontà dell'operato di XXX e periodicamente li contatta per sapere se ci sono nuove opportunità. In un panorama come quello italiano, dove magari abbiamo decine di migliaia di clienti, questo però non si può completamente fare.

Quando avete iniziato il percorso di Lean manufacturing 15 anni fa, avete realizzato delle value stream map dello stabilimento?

Non ve lo so dire con certezza, ma immagino di sì. Penso che Porsche Consulting sia partita proprio da lì. Ad ogni modo è uno strumento che a volte utilizziamo quando dobbiamo compiere delle modifiche particolarmente strutturate ai processi. Quindi, comunque, è utilizzato in azienda.

Per quanto riguarda la forza lavoro, gli operatori hanno la capacità di svolgere più compiti all'interno del processo produttivo? Vengono premiati al raggiungimento di certe performance?

I team per le kaizen week non vengono premiati, ma ci sono altri sistemi di premiazione nell'azienda. Viene premiato per esempio il team della linea di produzione in cui, nel corso dell'anno, è stato raggiunto il maggiore incremento di produttività. Viene anche premiata la persona o le persone che riescono a portare a termine l'analisi richiesta dal QRQC nell'arco di una sola giornata. E potete capire che è molto difficile, perché devi analizzare il problema e aver già implementato la soluzione nell'arco di una giornata. E questi sono i principali riconoscimenti legati all'attività lavorativa. Ovviamente al QRQC accedono sia le aree produttive, quindi anche il capireparto, che i "white collar".

Per concludere, siete soddisfatti degli strumenti che avete applicato? C'è qualcosa che non vi convince totalmente o che non siete riusciti per vari motivi ad implementare?

Vi rispondo politicamente. Continuous improvement significa che si può solo migliorare ed è proprio questo che facciamo noi, ovvero tentiamo di migliorare in continuazione sia a livello di processo vero e proprio, sia a livello di strumenti e sia a livello di monitoraggio. Al momento lo sforzo più grande che stiamo compiendo è sul monitoraggio delle nostre prestazioni. Se non siamo in grado di misurare le nostre prestazioni correttamente, non sappiamo nemmeno quali sono le aree che richiedono un maggiore miglioramento. Ciò che manca, e su cui stiamo lavorando, è avere le informazioni utili per poi direzionare le attività legate alla Lean ed evitare di avere attività legate alla Lean semplicemente perché qualcuno avverte la presenza di un problema e magari tale problema non esiste o può essere approcciato in modo diverso. Quindi, monitoraggio delle performance e Lean costituiscono la nostra area di miglioramento.

Collegandoci a questo, utilizzate strumenti statistici in produzione o nel controllo qualità?

Rispondo in modo politico anche qua e vi dico che la logica del QRQC, in realtà, è opposta a quella della statistica. Cioè, la statistica è un approccio che ti porta a compiere per esempio l'analisi di Pareto che mostra i tre problemi principali da approcciare in ordine. Il QRQC è invece una metodologia che ti porta a individuare un solo piccolissimo problema e a risolverlo. In ambito automotive, ad ogni modo, per quanto la Lean e il kaizen siano nati e tuttora implementati in quel contesto, alla fine si fa statistica, dati anche i volumi gestiti. Noi invece stiamo applicando la metodologia Lean nel vero senso della parola e pertanto non facciamo quasi statistica. Approcciamo i singoli problemi nel momento in cui si presentano risolvendoli istantaneamente. Questa è la tendenza che ha la nostra azienda.

Gli ordini che ricevete sono maggiormente standard, standard con customizzazioni o totalmente ad hoc?

In numero di pezzi prodotti, circa il 3/5% della produzione sono project-based. Poi, circa il 45% è standard e il restante 50% della produzione che rimane è standard customizzato.

Nel momento in cui arriva l'ordine, a che fase della produzione siete?

Noi produciamo proprio su commessa, anche lo standard. Non facciamo stock e produciamo in sequenza con il throughput time prestabilito, in modo da rispettare la richiesta di delivery data al cliente in fase di offerta. La pianificazione della produzione viene poi fatta con una visibilità di circa due settimane.

Case study 6

- Interviewers = Saverio Albanese and Amedeo Pellegrini
- Referent = Chief Operating Officer
- Date: 26/07/2021
- Recording time: 44' 38''
- Modality: meeting Teams

Potrebbe introdurci brevemente l'azienda? Il vostro settore, grandezza, competitors, etc.

XXX produce e commercializza macchine utensili per asportazione di truciolo. In Italia siamo in 230 e siamo divisi per prodotto; quindi, ognuna delle 3 aziende ha un ufficio di progettazione, un'area di montaggio e commercializza il proprio prodotto. Fatturiamo circa 80 milioni in Italia e circa 200 milioni in tutto il mondo.

Avete più richieste dall'estero o dall'Italia?

In media vendiamo circa il 70% delle nostre macchine all'estero e il restante 30% in Italia. All'estero la rete di vendita è gestita direttamente da XXX Austria. Noi infatti vendiamo loro le macchine a livello intercompany, ed è poi XXX Austria a occuparsi della commercializzazione fuori dai nostri confini. Il mercato italiano, invece, lo gestiamo direttamente dall'Italia.

In merito alla customizzazione del prodotto, ancora prima che arrivi l'ordine, voi avete una base o una piattaforma standard su cui poi montare le diverse parti richieste?

Noi abbiamo un catalogo prodotti con una specifica tecnica di base. Poi, a seconda del modello, ci sono delle personalizzazioni più o meno invasive. Mediamente, più di metà delle richieste passano dagli uffici tecnici in quanto presuppongono specifiche opzioni o personalizzazioni. In alcuni casi si tratta di modifiche facilmente gestibili; altre volte, invece, bisogna fare uno studio e una progettazione piuttosto rilevante. Noi non facciamo "Engineering To Order", cioè non progettiamo macchine da zero. Noi abbiamo un range di prodotto già consolidato al quale apportiamo delle modifiche o facciamo degli aggiornamenti in funzione delle richieste del cliente. Inoltre, non produciamo macchine a stock.

L'intera produzione inizia nel momento in cui arriva l'ordine? Oppure qualche attività viene svolta sulla base di una previsione?

La previsione eventualmente segue un budget annuale per una pianificazione a livello di MRP. E ciò non accade neanche su tutti i modelli. In alcuni casi abbiamo una pianificazione di massima che viene aggiornata mensilmente, mentre in altri casi c'è solo una pianificazione della capacità del nostro fornitore. Si fanno infatti dei contratti quadro di componenti che possono durare dai 12 ai 24 mesi, e con una visibilità per i nostri fornitori a medio termine in modo tale che possano riservare la loro capacità produttiva. E poi si fanno ordini

a richiamo, quindi noi non iniziamo a produrre macchine se non c'è un ordine. Eventualmente pianifichiamo il sourcing, ovvero l'approvvigionamento.

Annualmente, in media, quante macchine utensili riuscite a produrre?

Considerando le 3 aziende italiane circa 200 macchine, mentre a livello di gruppo siamo arrivati a produrne 1000. In Austria vengono realizzate macchine più piccole e alcune sono anche prodotte in serie. Nelle aziende italiane le macchine sono più grandi e più personalizzabili, ma in minore quantità.

In merito al rapporto con i fornitori, avete implementato qualche politica per la fornitura just in time dei materiali? Coinvolgete i fornitori nella fase di design di un nuovo prodotto?

Noi acquistiamo tutto, quindi non abbiamo lavorazioni meccaniche interne. Non abbiamo verniciatura, cablaggio o quadri elettrici. Il kanban è utilizzato esclusivamente per le minuterie quali raccordi, viti o componentistica pneumatica. Il fornitore viene direttamente e con l'ausilio del barcode vede quante cassette abbiamo e ci rifornisce di conseguenza. L'obiettivo è far gestire al fornitore la maggior parte dello stock. Noi generiamo ordini a richiamo che prevedono il massimo numero di settimane da quando noi rilasciamo l'ordine a quando loro consegnano, e sono poi loro a gestire i lotti minimi, eventuali stock di sicurezza e la loro catena logistica nel miglior modo possibile. Non abbiamo bisogno del just in time: non facciamo produzione di serie e non abbiamo una produzione di processo, noi lavoriamo a commessa e il nostro obiettivo è avere un massimo numero di mesi di consegna dei nostri macchinari.

Nella fase di assemblaggio utilizzate un takt time?

Noi abbiamo dei tempi ciclo, che non sono però i takt time. Abbiamo delle fasi di montaggio che vengono sequenziate, e il tempo ciclo per ogni fase è sull'ordine delle ore. In totale, si va dalle 200 alle 1000/1500 ore di montaggio che vengono spezzettate in 10, 20 o 30 sotto-operazioni. Non abbiamo un tempo ciclo assegnato alla singola fase come potrebbe essere in altre aziende o in un'altra realtà. Il nostro caso è un grosso puzzle di tante operazioni che vengono sequenziate e sulle quali si fa prima una stima preliminare e poi si parla di consuntivazione.

Per quanto riguarda la gestione di questa sequenza di operazioni, avete qualche strumento visivo? Ci riferiamo per esempio a dei monitor o a un sistema per individuare la percentuale di completamento di una commessa.

Abbiamo principalmente due sistemi. Il primo consiste in alcuni sistemi di barcode che vengono assegnati alle singole postazioni e le persone caricano le proprie ore di lavoro su questa stazione, la quale identifica una determinata operazione di una determinata macchina. Per esempio, è riportato che il signor Rossi ha lavorato per sei ore ad un montaggio del gruppo testa della "macchina A" e altre due ore ha fatto la

careatura alla “macchina B”. Perciò gli operatori, tramite il barcode, assegnano il proprio tempo a un ciclo di montaggio, e il tutto viene poi caricato tramite il nostro gestionale sulla commessa. Abbiamo poi una parte di ufficio produzione che riceve alcuni fogli, firmati dagli operatori, dove vengono annotate le varie tempistiche di montaggio con le eventuali anomalie. Tale ufficio inserisce tali informazioni a sistema.

Utilizzate qualche strumento statistico in fase di montaggio o in fase di controllo qualità?

Statistico no. Abbiamo una consuntivazione per fase e per macchina, ma non abbiamo dei numeri così ripetitivi per poter eseguire delle analisi statistiche.

Prima dell’implementazione delle tecniche lean, avete utilizzato la value stream map?

Esattamente. L’abbiamo applicata tre anni fa in due delle tre aziende tramite una società di consulenza esterna.

Utilizzate strategie di standardizzazione e/o modularizzazione per gestire la variabilità?

La standardizzazione la utilizziamo soprattutto a livello di progettazione macchine. Si cerca quindi, nello sviluppo di nuovi macchinari o di aggiornamenti, di trovare una standardizzazione dei sottocomponenti in modo da avere dei lotti minimi di acquisto più elevati, ridurre il costo del prodotto e avere una minore variabilità in termini di ricambi e di possibili differenziazioni.

In fase di montaggio avete delle celle di produzione, delle linee o delle postazioni fisse?

Fino a qualche anno fa a Pordenone c'erano delle linee di montaggio con dei binari su cui scorrevano le macchine e con un tempo assegnato per ogni fase. Adesso non abbiamo più macchine così standardizzate e quindi lavoriamo a isola. Le macchine sono anche diventate più grosse, più complicate e con un tempo di montaggio maggiore. Si posiziona quindi la macchina in un determinato posto e gli operatori lavorano ad essa. Il magazzino, in parallelo, prepara preventivamente i materiali in funzione della distinta base dei singoli gruppi e dello stato di avanzamento della macchina.

Parlando di gestione delle risorse umane, si lavora maggiormente in team o singolarmente?

Tipicamente si lavora in più di uno alla macchina, tranne in qualche area in cui si realizzano i sottogruppi. Si cerca di avere sempre le stesse persone dall'inizio alla fine del montaggio in modo tale da dare continuità e da evitare che, a fine del montaggio, ci sia una difficile identificazione del problema se un test di rilascio non è positivo. Mediamente si lavora dalle due alle quattro persone alla volta, sempre a seconda della dimensione della macchina e della fase di montaggio.

Relativamente alle competenze degli operatori, voi fate job rotation?

L'obiettivo è che un operatore abbia, nonostante competenze specifiche diverse, un'infarinatura di tutte le fasi di montaggio. L'unica differenziazione che manteniamo è tra montaggio meccanico e montaggio elettronico: cablaggio e messa in servizio costituiscono un reparto, mentre montaggio meccanico e collaudi geometrici ne formano un altro diverso. Abbiamo quindi due reparti e all'interno di ciascuno di essi tutte le persone devono saper svolgere indicativamente tutte le mansioni.

Avete un sistema per premiare i team o gli operatori che hanno raggiunto determinate performance nel corso dell'anno?

C'è un premio di risultato aziendale con vari target. Mediamente, ci sono due target associati al montaggio meccanico e sono tipicamente la puntualità di consegna delle macchine e l'efficienza di produzione. Per quest'ultima si confronta il tempo ciclo previsto e assegnato a quella commessa e il tempo ciclo consuntivato al termine del montaggio. L'efficienza può essere anche maggiore del 100% e questo accade quando si impiega meno del tempo previsto iniziale. Solitamente non si stabilisce un termine di valore assoluto perché il risultato può essere molto basso o molto alto a seconda dei tempi standard selezionati. Perciò settiamo un target basato su un miglioramento anno dopo anno. Per esempio, se l'anno precedente quell'azienda ha avuto mediamente un'efficienza del 90%, l'anno successivo deve fare almeno il 95%.

Avete implementato il 5S nelle diverse postazioni di lavoro?

Sì, l'abbiamo introdotto tramite la stessa società di consulenza su tutte le tre aziende. Sono stati svolti dei mini-progetti pratici e poi si è cercato di mantenere la stessa logica in maniera autonoma. All'inizio, quando abbiamo avviato il progetto Lean, questo era uno degli obiettivi aziendali. Infatti, a seguito degli ordini mensili, c'erano degli scoring e in funzione del punteggio ottenuto si forniva un fattore moltiplicativo all'ammontare del premio di risultato a fine anno.

Nella gestione del rapporto coi clienti, avete un sistema di feedback durante la produzione e/o dopo la vendita?

Sì. Sulle macchine più importanti c'è una funzione aziendale chiamata project management che funge da interfaccia col cliente. Invece, per macchine più semplici, è l'ufficio commerciale che gestisce le varie comunicazioni.

Avete qualche tecnica kaizen per il miglioramento continuo?

Abbiamo due strumenti principalmente. Il primo è dedicato al costo del prodotto: con l'ufficio acquisti e parzialmente con l'ufficio tecnico si effettua un "product review" ogni anno o due, a seconda dell'anzianità del progetto. Il secondo strumento è più a livello tecnico-qualitativo e consiste in un sistema di raccolta dei

feedback su problematiche riscontrate dai clienti o durante il test della macchina. Mensilmente, si organizzano dunque delle riunioni per discutere alcune modifiche di prodotto in funzione proprio dei feedback ottenuti.

In fase di montaggio, nonostante la presenza di isole, adottate qualche forma di flusso continuo?

Purtroppo no. Lavorando in maniera dedicata alla macchina non c'è un flusso continuo né di materiali né di operazioni di montaggio.

Sempre in fase di montaggio, avete un sistema strutturato per il monitoraggio delle performance?

Per la produzione della macchina si esegue una consuntivazione per fase e per commessa completa a livello di costo dei materiali, di ore di progettazione previste e di tempi di montaggio e di installazione. Durante la fase di montaggio, inoltre, ci sono dei checkpoint intermedi da completare prima di poter passare alla fase successiva. Quindi sono dei controlli di avanzamento della commessa con degli step di verifica geometrica o funzionale impostate dall'ufficio tecnico che consentono di passare alla fase successiva fino al rilascio finale della macchina. Il librettino su cui si annotano tutti i checkpoint viene poi archiviato e una parte di questo viene dato al cliente come prova dei test e delle funzionalità che sono state provate prima del rilascio della macchina.

Avete qualche strumento per livellare la produzione? Produzione intesa come montaggio.

Sì, abbiamo due strumenti. Il primo è premontare dei gruppi meccanici che possono essere utilizzati su più macchine, il cui rischio di obsolescenza è pertanto praticamente nullo. Il secondo è pre-lanciare delle macchine, attività che comunque cerchiamo di ridurre al minimo a causa dell'altissima variabilità. Il rischio è sia quello di aumentare il work in progress sia quello di doverle riconfigurare smontando dei pezzi o cambiando dei particolari. Il cliente finale, infatti, potrebbe ordinare la stessa macchina ma con una qualche piccola differenza. Perciò queste sono le due tecniche utilizzate per il livellamento dei picchi. Noi quindi cerchiamo, almeno sui macro-gruppi, di avere la stessa soluzione tecnica per vari modelli, in modo tale da ottenere lotti maggiori e, soprattutto, dei pre-montaggi che possano poi non essere cambiati.

Nella gestione dei problemi, avete qualche tecnica di root cause analysis??

No, non gestiamo le problematiche in maniera strutturata. Abbiamo una serie di azioni aperte che vengono discusse durante le riunioni sulla qualità e vengono poi implementate le azioni correttive. Perciò non abbiamo un'analisi strutturata come il fishbone diagram.

Applicate qualche tecnica finalizzata alla riduzione dei tempi di setup?

No, perché noi non abbiamo alcuna lavorazione interna. Noi realizziamo soltanto montaggi, quindi il nostro tempo di setup può essere visto come il passaggio da una commessa all'altra o come lo spostamento di un operatore da una macchina all'altra a causa della mancanza di materiale o di un problema di qualità.

Avete delle politiche di Total Quality Management all'interno dell'azienda?

Abbiamo una certificazione ISO 9001 nelle tre aziende italiane. Abbiamo anche dei processi interni di gestione della qualità, in compartecipazione con XXX Austria, per la gestione dei feedback dei clienti esteri. Tecniche di analisi statistica o di gestione predittiva della qualità non ne abbiamo in quanto, come dicevo prima, non abbiamo una produzione ed è quindi difficile impostare un'analisi di un certo tipo.

Adottate qualche tecnica di concurrent engineering?

Generalmente sì. Facciamo concurrent engineering nel momento in cui dobbiamo compiere una modifica su una macchina o una personalizzazione, e l'ufficio tecnico è l'owner del processo al 99%. Quando invece sviluppiamo il progetto di una nuova macchina si fa un'analisi preliminare di mercato, si fa un capitolato tecnico che include anche il potenziale prezzo di vendita, coinvolgendo quindi anche la parte di ufficio tecnico e la parte di project management. Ad ogni modo, soltanto se si riesce a ottenere un prodotto sulla carta competitivo rispetto a quello che richiede il mercato si procede alla commercializzazione. Quindi, per concludere, il concurrent engineering lo applichiamo principalmente nella fase di nuovi sviluppi e di nuovi progetti.

Per trasmettere le informazioni dall'ufficio tecnico al reparto di montaggio, c'è un supporto cartaceo o avete un sistema digitale?

Funziona così: l'ufficio tecnico predispose un "manualetto macchina" che comprende i check delle varie fasi che devono essere firmati dagli operatori. Poi, tramite un consulente esterno, viene realizzato un manuale di montaggio in cui fisicamente vengono mostrate le istruzioni di montaggio con fotografie e descrizioni. Abbiamo poi dei team leader di prodotto che hanno un tablet attraverso cui accedere ai disegni, alle istruzioni o alle eventuali fotografie di macchine simili nel database aziendale.

Nel momento in cui avete introdotto le tecniche lean, avete iniziato con un progetto pilota oppure avete fin da subito implementato tutte le tecniche?

La logica seguita è stata quella di applicare le tecniche a partire dalla più semplice, con un mini-progetto seguito da un consulente, per poi dare un tempo di 6/9 mesi per l'acquisizione di quel tipo di attività. Così facendo, al termine di questi 6/9 mesi, si poteva avviare un altro progettino pilota in un'altra area o per un'altra tecnica, sempre col consulente e con i conseguenti 6/9 mesi di implementazione autonoma. Dopo

qualche anno bisogna sottoporsi a un “refresh”, sia perché le persone nel tempo cambiano e soprattutto perché, se non si mantiene una certa costanza, si rischia di avere un’involuzione.

C'è stata qualche tecnica lean per cui avete riscontrato molte difficoltà ad implementarla? Oppure qualche tecnica che non siete totalmente riusciti ad implementare?

La tecnica più difficile da introdurre, e che ha quindi incontrato le maggiori resistenze, è la 5S. Pur essendo la tecnica più semplice, è quella che deve essere più interiorizzata dal singolo dipendente. Se ciò non accade e se non se ne capiscono le potenzialità di fondo, si rischia poi che le cose tornino a come erano all'inizio.

Perciò suppongo che abbiate organizzato dei corsi per preparare gli operatori a queste tecniche lean. Corretto?

Assolutamente sì, attraverso il team working, in quanto sarebbero state proprio loro le persone a dover portare avanti l'attività. Non dico che è andato totalmente perso, ma ogni 3/4 anni bisogna rifare qualcosa, magari le attività che si fanno più fatica ad assimilare, e indipendentemente dal tipo di persone, quindi che siano in ufficio o al montaggio.

Siete complessivamente soddisfatti delle tecniche lean applicate?

Siamo abbastanza soddisfatti. Si pensava che fosse più facile integrare una certa attività in modo che poi l'azienda se ne facesse carico in maniera autonoma. Invece, ogni volta, vediamo che ci deve sempre essere, dall'alto o dall'esterno, un input per continuare nella direzione intrapresa.

Case study 7

- Interviewers = Saverio Albanese and Amedeo Pellegrini
- Referent = Kaizen & Quality Manger and Group Marketing Manager
- Date: 29/07/2021
- Recording time: 68' 16''
- Modality: meeting Teams

Ci può introdurre brevemente la vostra azienda in termini di settore, grandezza, fatturato, competitors, ecc?

A questa domanda provo a rispondere io [referent #2]. In merito alla Lean, dopo, parlerà Simone. XXX è la capogruppo del gruppo YYY. È nata nel 1934 e si trattava di una semplice officina meccanica gestita dal nonno dell'attuale presidente esecutivo. Negli anni 60, poi, quando ci fu il boom della tecnologia della plastica e della sua diffusione, il figlio (quindi il padre dell'attuale presidente) decise di addentrarsi proprio nel business della plastica. Per l'esattezza, non nella reale produzione di plastica, ma di macchinari per la sua produzione. Nel tempo l'azienda si è gradualmente evoluta e ad oggi non abbiamo soltanto la divisione "plastica", bensì ne abbiamo principalmente un'altra. Se provaste a consultare il sito web del gruppo trovereste infatti il settore plastica, il settore food e il cooling, il quale è trasversale ai due. Sia nel settore plastica che nel settore food noi ci occupiamo di automazione industriale per la realizzazione di prodotti finiti. Nello specifico, il lavoro dei nostri impianti inizia quando la materia prima, plastica o food, entra nei silos, e in alcuni casi anche questi ultimi li forniamo noi. Tutto quello che viene a valle, quindi il trasporto dai silos alla macchina primaria, la dosatura e il trattamento fisico della materia sempre prima di giungere alla macchina primaria è completamente fatto da noi. In merito al trattamento fisico, per darvi un esempio, alcune plastiche devono essere portate alla temperatura corretta per essere lavorate dalla macchina primaria, la quale può essere un iniettore, un estrusore o altro. Qualcosa di analogo accade anche per l'ambiente food. Qui le farine, ad esempio, al contrario della plastica, potrebbero dover essere raffreddate per poter realizzare i prodotti in modo corretto. Sempre nel food, il nostro target era inizialmente cibo in polvere o in granuli, ed era proprio questa l'analogia con la plastica. Non potendosi limitare solo ed esclusivamente a ciò, sono stati successivamente introdotti anche liquidi, grassi e tutto ciò che serve per fare ad esempio biscotti, panificati o gelati a livello industriale. Per riassumere, i nostri impianti prendono la materia prima, la trasportano nelle giuste quantità, la miscelano in caso di un mix (quindi una ricetta di più polimeri o alimenti), la portano nelle condizioni ideali per la lavorazione e infine la portano alla bocca della macchina primaria. La fornitura di quest'ultima, però, non è di nostra competenza. Forniamo anche il software di supervisione, quindi non ci occupiamo solo di aspetti hardware: ad oggi, in un'industria 4.0, è cruciale possedere tutto ciò che permette alle apparecchiature di produzione di interfacciarsi con i sistemi ERP e di gestione della produzione. Trasversalmente, la divisione cooling si occupa di apparecchiature per il raffreddamento

dell'acqua, un elemento cruciale in entrambe le applicazioni. La maggior parte degli ordini arrivano dall'estero, ma anche l'Italia costituisce una buona fetta del business. XXX è un'azienda quotata in borsa e il fatturato nel 2020 è stato di 225 milioni di euro. Nel mondo abbiamo 33 filiali, le quali hanno anche centri di assistenza al loro interno, e 9 siti produttivi: sei in Italia, uno in Brasile, uno in Cina e uno negli USA.

Quali sono stati i driver che vi hanno portato a entrare nel mondo della Lean?

Vi dico soltanto l'ultima cosa, poi lascio la parola al mio collega. Giusto per contestualizzare, in questo momento siamo focalizzati nel settore plastica. Perciò quello che vi spiegherà Simone sarà quasi interamente riferito a questo settore.

Io sono il Kaizen & Quality manager; quindi, mi occupo di miglioramento continuo e di ISO9001, ovvero certificazione qualità. Unisco entrambi gli ambiti in quanto, per questioni strategiche, i processi vengono controllati con due ottiche: un'ottica tipicamente Lean e un'ottica procedurale-normativa. Fondamentalmente sono tecniche diverse per approcciare gli stessi problemi. Sono qui da sei anni, quindi la Lean è partita ben prima che arrivassi io. Ad ogni modo, vi racconto un po' di storia. A metà anni 80, il padre dell'attuale presidente esecutivo sentì del famoso modello Toyota e organizzò un viaggio in Giappone come moltissimi imprenditori dell'epoca. Negli anni 90, affascinato da queste metodologie, introdusse il sistema kanban cartaceo con i fornitori: si trattava della prima tecnica lean introdotta in XXX. La Lean intesa proprio come approccio strutturato nasce a tutti gli effetti nel 2007, quando \$\$\$ (attuale presidente esecutivo) decise di intraprendere proprio questo percorso al fine di ridurre gli spazi e aumentare l'efficienza produttiva a fronte di una notevole crescita del mercato. È stata ingaggiata una società di consulenza chiamata "Kaizen Institute" che aiutasse l'azienda a trasformare la fabbrica. Dopodiché, dopo un primo passaggio di definizione delle macroaree e delle logiche principali, quindi suddivisioni delle linee produttive per famiglie, è stata istituita una funzione interna che portasse avanti il lavoro. E io, temporalmente, sono il terzo responsabile di questa funzione. Prima del mio avvento la Lean era esclusivamente "production". Nel 2016, anno del mio ingresso in azienda, la cultura era inoltre totalmente acquisita. Infatti, il middle management era in grado in autonomia di portare avanti le logiche, essendoci di fatto alcune persone all'altezza del grado "green belt" (non certificati) e altri addirittura di livello "black". Di conseguenza, era più strategico focalizzarsi su altri aspetti del flusso: prima la logistica, poi progressivamente l'office (Lean office). Io porto avanti dal 2016 la Lean in tutte le sue forme. Quindi, per riassumere: 2007-2016 Lean production e dal 2016 anche Lean office, in modo che la linea abbracci tutti i processi aziendali. Stiamo anche iniziando a discutere qualche tecnica di Lean accounting, ma il tutto è ancora in fase embrionale.

Avete implementato qualche tecnica lean per la gestione del rapporto con i fornitori?

Inizio a esporvi quelle che sono codificate, in quanto, in realtà, abbiamo molte tecniche o applicazioni "Lean" nel senso che aiutano i processi produttivi da un punto di vista dell'efficienza.

Innanzitutto, possediamo un sistema kanban. Ad ogni modo, noi abbiamo SAP come sistema ERP e proprio con l'introduzione di SAP il sistema kanban cartaceo, di cui vi parlavo prima, è stato abbandonato. Attualmente il nostro sistema kanban è di due tipi: un sistema kanban puro; quindi, a fronte della dichiarazione del vuoto il fornitore riceve una richiesta di consegna. Abbiamo un sistema che informaticamente incrocia lo scadenziario fornitori con il nostro kanban che chiamiamo "piano di consegna". Quindi, quando il magazzino necessita di materiale, viene inviata la richiesta al fornitore e questo lo chiamiamo anche "kanban esterno". Quindi i fornitori ricevono un'indicazione di consegna massimo settimanale. Contestualmente a questo è attivato un servizio di "milk run" per tutti i fornitori nel Veneto. Noi abbiamo una navetta di nostra proprietà che giornalmente compie ritiri di questo materiale. Quindi le due macro-pratiche sono kanban e "milk run".

I vostri fornitori, a loro volta, implementano tecniche lean? Avete qualche politica a riguardo?

In media il 50% applicano delle tecniche lean. Noi abbiamo sia fornitori multinazionali che chiaramente le applicano, ma lavoriamo anche con altre piccole realtà. Per esempio, la classica azienda metalmeccanica del nord est può avere il Lean manager così come può anche non avere alcuna pratica lean. Infine, ci sono alcuni fornitori che applicano pratiche lean senza neanche sapere che lo siano. Ad ogni modo, a noi interessa principalmente che il fornitore produca qualitativamente il prodotto corretto e temporalmente lo consegna. Io quindi mi focalizzo più sull'efficacia del fornitore, se poi applicano internamente la Lean è un aspetto che passa in secondo piano.

Avete qualche forma di coinvolgimento dei fornitori nello sviluppo di nuove soluzioni?

Le nostre macchine sono costituite principalmente da elementi in metallo, per cui abbiamo alcune lavorazioni interne di carpenteria o di macchine utensili, e di parti elettriche classiche. I nostri progettisti, nel momento in cui c'è una richiesta specifica del mercato per un nuovo prodotto o di un cliente, si interfacciano con i fornitori "core" in modo da fare letteralmente co-engineering sia dal punto di vista di soluzioni tecniche che a livello di industrializzazione produttiva.

In produzione e, ancora prima, nella sua pianificazione, adottate qualche tecnica lean?

Abbiamo un sistema di kanban "interno" (ed implicitamente anche "esterno") con circa 4500 codici da gestire, giusto per darvi una magnitudo. E sono in continua evoluzione ovviamente. Quindi le varie linee fanno il vuoto in forma elettronica e tramite il sistema informativo parte la missione a magazzino centrale. Il water spider fa quattro giri al giorno per darvi una frequenza. E abbiamo anche kanban interni tra linee, in

quanto l'input di una linea può essere l'output di un'altra linea. Sempre in produzione, noi usiamo il kanban anche al posto del tabellone Heijunka, che sarebbe fattibile, ma anche qui c'è un problema di spazio. Usiamo quindi dei polmoni (buffer) tra le varie stazioni, gestiti con dei kanban livello. Internamente la produzione è divisa in due reparti di semilavorati, quindi una carpenteria e una sezione di macchine utensili. Le linee di assemblaggio, quindi, fanno il vuoto e la richiesta viene inoltrata ad altre linee di costruzione interne o ai fornitori. Poi, come dicevo prima, vi sono linee che lavorano per altre linee e qui entra in gioco un lavoro di standardizzazione di sottoassiemi, e anche questa è una tematica lean. Quindi, per ciò che è ripetitivo e standardizzato, sia come sottoassieme di macchina che di componente, viene creato un polmone gestito di nuovo con il sistema a kanban interno. La realizzazione dei sottoassiemi ripetitivi, dal singolo componente al preassemblato, viene lottizzato, nonostante ciò sia contro la filosofia lean. Ove lo spazio ed il costo sono irrilevanti è un'assurdità non fare un lotto da 10. Quindi entra in gioco anche il buon senso. In merito alla riduzione dei tempi di setup, un anno e mezzo fa avevamo due presse piegatrici di lamiera a setup manuale, dove l'operatore prende lo stampo e lo carica a mano. Queste due presse sono state sostituite da una a setup automatico, perché a noi tutto ciò che ci serve ad alti volumi ci conviene farlo fare fuori, focalizzandoci internamente solo su ciò che dobbiamo realizzare a piccoli pezzi, quindi ad hoc. Abbiamo quindi di fatto azzerato i tempi di setup. Inoltre, sempre in ottica Lean, il progettista, quando crea i file tecnici, crea anche il file di interscambio con la macchina e qui entra in gioco il 4.0. L'operatore di macchina, tramite il barcode, richiama il programma di lavoro e la macchina automaticamente si auto-attrezza. Alla base di questo c'è stato un lavoro di spaghetti chart, quindi analisi delle percorrenze. L'analisi del flusso del valore è una tecnica trasversale a tutti questi argomenti e viene sempre compiuta. Citando alte tecniche lean, è stato chiaramente implementato il 5S, che ormai fa parte della cultura a tutti gli effetti. Abbiamo inoltre varie applicazioni di poka-yoke. Tipicamente tutte le postazioni hanno le rastrelliere con i segni dove mettere gli strumenti. Siccome noi siamo estremamente dinamici, un supporto poka-yoke può servire per tre mesi e poi non servire più o essere cambiato. Perciò, non ci formalizziamo a creare supporti in legno. Cerchiamo di compiere il giusto investimento e, ripeto, l'importante è che l'operatore non commetta errori. Abbiamo anche alcuni supporti informatici, come pianificatori, sistemi MES, sistemi di supporto all'operatore con documentazione a bordo macchina e altro. E tutti questi sistemi possono essere etichettati come Lean in quanto avvicinano l'informazione all'operatore. Per implementare tutte le tecniche che vi ho citato finora utilizziamo VSM, swimlane chart, spaghetti chart e tutti gli strumenti di analisi della linea.

Sempre in produzione, avete qualche forma di takt time?

Non proprio, nel senso che noi abbiamo la standardizzazione dei tempi ciclo. Non abbiamo alti volumi a causa dell'altissima variabilità. Posso dire che c'è un takt per 2 prodotti su 100. In generale, comunque, il takt time è stato calcolato per capire come allestire le linee. Da noi non esiste una linea che fa un solo prodotto o due, abbiamo linee che fanno un mix di prodotti (mix model). In quanto tale, il takt time sarebbe un takt time

medio e quindi di conseguenza avrebbe senso fino a un certo punto. Perciò, nonostante sia difficilmente applicabile in fase operativa, il takt time è utilizzato in fase di progettazione delle linee, e soprattutto per le linee ad alta standardizzazione e ad alta quantità. Complessivamente abbiamo 14 linee produttive, che presentano anche configurazioni diverse. Passiamo quindi dalla classica linea robotizzata con le catene che avanzano nelle stazioni, con il supermarket dietro e con l'operatore che prende e mette in posizione, ad una linea non vincolata in cui l'oggetto non viene portato avanti in automatico, ma manualmente dall'operatore. Abbiamo poi anche la linea a "liscia di pesce" in cui vi sono delle postazioni di assemblaggio laterali. È presente un operatore centrale che monta la macchina e uno o due operatori laterali che parallelamente realizzano i preassemblaggi. In aggiunta, abbiamo anche la classica isola con il supermarket di prelievo, utilizzata per eventuali macchine con altissima variabilità e per cui, appunto, la linea non è fattibile. Infine, abbiamo un'area per soluzioni altamente customizzate, che di fatto sono prototipi. Ed è anch'essa un'isola con asservimento a prelievo.

Parlando di manutenzione, avete implementato qualche forma di manutenzione programmata o preventiva? Usate la TPM?

Per la manutenzione delle attrezzature come carrozzone e carrelli abbiamo chiaramente dei piani di manutenzione concordati con i costruttori. Per quanto riguarda invece la manutenzione delle attrezzature al servizio della produzione, è il costruttore che consiglia un piano. Noi abbiamo un ufficio maintenance dedicato, oltre alla gestione su segnalazione. Per quanto riguarda il reparto di lavorazioni meccaniche e di carpenteria, quindi taglio, piega, stampaggio, calandratura, tornitura, fresatura e altre, abbiamo realizzato un piano di manutenzione interno. Sono gli operatori stessi ad avere un piano di manutenzione che, a partire da quello consigliato dal costruttore, viene incrementato in base alle necessità. Gli operatori hanno quindi una serie di attività giornaliere, settimanali, mensili, trimestrali o annuali. Il tutto fin dove la competenza degli operatori arriva, in quanto ci sono anche delle attività eseguibili esclusivamente dal costruttore. Vogliamo chiamarla TPM? Chiamiamola TPM.

Disponete di qualche strumento statistico per il controllo dei processi?

Abbiamo implementato da un paio d'anni un sistema MES di rilevazione bidirezionale delle attività. Quindi io do all'operatore tutto ciò che gli serve, tutte le informazioni per lavorare. Viceversa, l'operatore, per ogni attività, non solo mi dice cosa fa, ma mi dice anche che problemi ha avuto, quanti e dove. Quindi raccolgo non solo dati statistici tipici per tempi e metodi, ma anche di fatto i muda su cui poi vengono fatte azioni correttive. Si possono anche scattare delle fotografie, fornendo quindi anche supporto visivo. Quindi, in ogni momento e tramite un click, posso generare delle statistiche da condividere con capolinea, direttore operations, direzione generale, sicurezza, RSU. E si tratta di statistiche vere e proprie. Ci possono però essere

anche interventi mirati. Ad esempio, l'operatore, per una soluzione particolare, può fare una serie di foto da inviare all'engineering, e sono io a gestire questo flusso informativo.

Applicate qualche tecnica lean per la gestione delle risorse umane?

Noi abbiamo una mappatura delle competenze, e quindi una policy di job rotation. La nostra principale criticità è la variabilità, e questa implica anche una variabilità di competenze. La forza produttiva di XXX è proprio disporre di un'altissima flessibilità nelle competenze degli operatori. Può capitare, infatti, che in una settimana ci siano tre linee cariche e due meno, e la settimana dopo viceversa. Noi non forniamo macchine, forniamo impianti, e se vendo 5 impianti questo mese, dentro quegli impianti ci possono essere metà macchine di un tipo e metà macchine di un altro. C'è un'altissima variabilità di carico data dal mix, che dipende a sua volta dal processo del cliente. Pertanto, la job rotation risulta essere un'arma fondamentale. Settimanalmente c'è un incontro tra i vari coordinatori di reparto e il planning per capire come ridistribuire le risorse di produzione nelle linee a seconda delle necessità. Implicitamente, la mappatura delle competenze evidenzia anche dove sono carente per determinate linee, e se c'è una tendenza alla crescita dei volumi proprio in quella linea si fa job rotation. All'interno dei singoli reparti produttivi si tengono regolarmente degli incontri con le maestranze per raccogliere le segnalazioni di tutte le tipologie, quindi segnalazioni per la Lean, di qualità, sicurezza, miglioramento di prodotto. Gli operatori sono costantemente coinvolti nei feedback, che vengono raccolti dal sottoscritto (sono fisicamente di fronte alle linee) o dai capilinea che poi riportano a me. Se è una tematica produttiva o Lean si agisce, se riguarda la progettazione viene coinvolto l'engineering e se è una tematica di fornitori viene coinvolto l'ufficio acquisti. Io e il responsabile di produzione facciamo quindi da ponte verso le altre funzioni aziendali. Poi ci sono continui piani di formazione, a parte quelli per la sicurezza che la si dà per assodata. Annualmente tutti i vari responsabili comunicano all'ufficio HR le richieste formative per i propri dipendenti. Si tratta di richieste formative esterne in quanto per quelle interne si fa job rotation.

Avete internamente delle politiche per premiare gli operatori che hanno raggiunto determinate performance?

Come azienda, abbiamo un accordo di secondo livello con i nostri RSU e c'è un premio di produzione trasversale basato su alcuni parametri di controllo di gestione. E poi vi sono delle maestranze o degli MBO ove l'ufficio HR ritiene che sia necessario. Quindi, accordi di secondo livello e MBO.

Per gli operatori, il lavoro è più individuale o di gruppo? Ci sono forme di team working nella vostra azienda?

Se parliamo di reparti produttivi il lavoro è individuale. Il gruppo è più nella gestione degli operatori, quindi se si tratta dello sviluppo di un nuovo prodotto il lavoro è di gruppo, se mi dite montaggio di una macchina è

singolo, anche se per montare una macchina vanno organizzati dei gruppi. Noi non abbiamo lavori operativi dove vi è una squadra, tranne che in loco dal cliente. Noi eseguiamo anche l'installazione e c'è una funzione aziendale che seleziona il gruppo di lavoro e il capocantiere, e il tutto è coordinato da un project manager.

Come gestite il rapporto con i clienti?

Il rapporto è molto incentrato sulla gestione delle non conformità. Noi abbiamo un sistema di raccolta delle problematiche/segnalazioni che però non necessariamente sono in merito a una non conformità. Queste segnalazioni possono avere varie magnitudo, e potrebbero anche esserci segnalazioni per mancanza formativa. In questi casi, sotto richiesta, facciamo anche formazione ai tecnici del cliente. Il nostro After sales service raccoglie quindi tutte le segnalazioni e a fronte di questo si esegue l'analisi della magnitudo delle macro-tipologie di segnalazioni di prodotto o di servizio. Infine, si ingaggia la funzione aziendale di competenza. Ove la cosa non è chiara, invece, entro in gioco io. Questo accade quando un evento è stato generato da una concausa di più funzioni, e il coordinamento trasversale del miglioramento è direttamente gestito da me. Per miglioramento si intende da una banale revisione di prodotto a un'analisi 8D delle cause. Noi proponiamo ai nostri clienti anche la manutenzione programmata e siamo noi a eseguire concretamente la manutenzione dei nostri impianti. Un'altra attività che svolgiamo è raccogliere una serie di feedback tramite dei questionari di attività in loco. Noi la chiamiamo "soddisfazione del cliente".

Avete qualche forma di concurrent engineering all'interno dell'azienda?

Noi abbiamo lo sviluppo di nuovi prodotti e la progettazione di customizzazione ad hoc. Il concurrent engineering entra in gioco nel secondo caso, quindi quando c'è l'engineering ad hoc. Nel momento in cui un cliente chiede un qualcosa di non standard (consideriamo il 50% e da noi lo standard consiste nello standard di parti che poi confluiscono in una customizzazione), la soluzione può richiedere un'ora o addirittura due mesi di lavoro. In generale, però, quando c'è una customizzazione da realizzare a livello di engineering, viene fatto prima di tutto una un'attività di riduzione dei lead time: si analizza la richiesta del cliente e si anticipa tutto ciò che è standardizzato e quindi anticipabile. Noi la chiamiamo "gestione anticipi", quindi tutto ciò che è standard nella soluzione viene già anticipato per poter essere realizzato preventivamente. L'engineering non fa altro che identificarlo ed è lì che di fatto noi facciamo le statistiche. Poi ci sono anche alcuni studi previsionali e più che previsione di macchine abbiamo previsione di parti di macchina. Riassumendo, noi anticipiamo fortemente, ove possibile, macchine, assiemi di macchine o singoli componenti con altissimo lead time. Se per esempio ho una macchina custom che devo realizzare in due mesi e ho un componente che ha lead time di un mese e mezzo, devo identificare fin dall'inizio quel componente, anticipo e faccio partire l'approvvigionamento. Poi l'engineering va avanti col resto. L'engineering ha un capo team che coordina i vari tipi di ingegneria, quindi ingegneria meccanica, elettrica, elettronica e software per farle andare in parallelo. Quindi vi è un una figura che nel caso di un nuovo prodotto è il responsabile di prodotto, nel caso

di una commessa è il capo commessa dell'engineering, e che definisce tutte le attività di engineering, le anticipa e le paralizza in modo che da arrivare il prima possibile con tutto.

Avete applicato e/o applicate tuttora la value stream map o qualche strumento simile?

Nel momento in cui devo analizzare un processo è lo strumento che uso regolarmente in forma più o meno "hard". Ogni cantiere di miglioramento inizia con la value stream, anche perché serve per definire l'AS IS e il TO BE.

Parlando del livello di customizzazione richiesto dal cliente, quanto spesso è necessario ripartire dalla progettazione?

Il 50% rappresenta una media delle situazioni in cui l'engineering è coinvolto. In realtà, di fatto, è coinvolto molto di più, e potremmo anche salire al 70%. Il 50% è dato dalla magnitudo, nel senso che ci sono casi in cui c'è un altissimo coinvolgimento dell'engineering a situazioni in cui semplicemente bisogna cambiare il colore. La variabilità è enorme perché noi abbiamo tantissimi sbocchi di mercato. Tutte le possibili combinazioni confluiscono in centinaia di combinazioni di prodotti, ma ci sono anche clienti ripetitivi per cui, una volta trovata e formalizzata la soluzione, l'apporto dell'engineering è minimo. La prima volta resta comunque un progetto molto importante. Per concludere, 50% è molto approssimativo, forse sarebbe meglio un range tra 20% e 70%. Di fatto da noi l'engineering di commessa è il primo step produttivo a tutti gli effetti.

Per quanto riguarda la produzione ha detto che si possono anticipare alcune componenti. In media, con che percentuale accade ciò?

Esattamente. Vi ho citato prima i circa 4500 codici kanban e considerate che in media il 50% può essere anticipato. Scusate se vi faccio una stima grossolana, ma la variabilità è troppo alta per stime più precise.

Complessivamente, a partire dal 2007, siete soddisfatti del percorso Lean intrapreso?

Estremamente sì. Considerato il vincolo di variabilità che abbiamo siamo davvero molto soddisfatti.

Case study 8

- Interviewers = Saverio Albanese and Amedeo Pellegrini
- Referent = Operation Manager
- Date: 05/08/2021
- Recording time: 60' 44''
- Modality: meeting Teams

Potrebbe farci una piccola panoramica dell'azienda e del mercato? Inoltre, chi sono i vostri clienti? E i vostri fornitori?

La nostra azienda progetta, produce e installa manipolatori industriali. Lavoriamo su commessa: siamo Engineering to order, ma anche Make to stock... poi vi spiego meglio. I nostri clienti appartengono ai settori in cui c'è da movimentare un peso in una postazione di lavoro presidiata dall'uomo. Infatti, è fondamentale l'interazione con l'uomo. E i nostri mercati sono i più diversi settori. L'automotive chiaramente rappresenta una buona parte, ma forniamo anche le aziende agricole e impianti di ogni genere, come anche l'officina fatta da cinque o più dipendenti che devono movimentare un grosso pezzo sul tornio. Come anche dal settore chimico al farmaceutico, dall'alimentare alla meccanica e quant'altro. Dal punto di vista dimensionale abbiamo a che fare quindi con la multinazionale, con la piccola officina e tutto quello che sta nel mezzo. Il nostro è un tipo di prodotto che non ha un grande valore di mercato perché viene visto come un qualcosa poco in più di un paranco. Per darvi un'idea, i nostri modelli di manipolatore vengono venduti dai 5 ai 20.000/30.000 €. Il valore delle attività che facciamo è quindi molto ristretto: tre giorni di progettazione, tre giorni di montaggio e tre giorni di cablaggio. I tempi di esecuzione delle attività non sono lunghissimi: non posso dire che "se non faccio una cosa oggi la faccio domani", qui è buona la prima. Realizzando prodotti di sub-commessa, e parlo soprattutto dell'end effector, ovvero la parte che costruiamo appositamente per il cliente. Tutti sono focalizzati a rendere funzionale l'oggetto che produciamo, e che sia soddisfacente per il cliente; dopodiché, se l'ho fatto con spessore 10 e potevo farlo con spessore 8, è una cosa che passa in secondo piano, in quanto produciamo un pezzo solo e poi normalmente quel pezzo lì non viene più riprodotto. La nostra quantità d'ordine è quindi tipicamente uno: capitano le ripetizioni, ma si contano sulle dita delle mani. In generale, il prodotto è molto articolato e molto complesso perché molto spesso il cliente lo considera una utility, cioè non un componente del suo prodotto, bensì uno strumento di supporto alla sua linea. E molto spesso il nostro problema sono i dati di input, in quanto il cliente non ti dice che oltre al pezzo o al disegno che ha dato ne ha altri 14, non ti dice che intanto ha cambiato modello, non ti dice che l'oggetto da movimentare deve essere schiacciato, non ti dice che in una determinata postazione puoi prenderlo e in un'altra no. Quindi capite che si ha una molteplicità di informazioni di input che se sono ben note a inizio progetto rendono il lavoro più lineare; scoprire invece cose nuove durante o addirittura alla fine crea notevoli problemi, e questo purtroppo per noi è un grosso problema in quanto molto spesso il cliente non sa

addirittura cosa sia un manipolatore. Frequentemente ci sono clienti che ci comunicano: “adesso ho finalmente capito cosa mi arriva”. Quelli dell’automotive sono degli specialisti, ma per gli altri molto spesso è la prima volta che vedono un manipolatore. Quindi loro pensavano, presumevano, avevano dei disegni, ma poi alla fine saltano cose fuori quando purtroppo è tutto pronto, e questo capite bene che a livello di pianificazione delle attività è un problema. Gestire questi continui cambi di pianificazione è complicato perché il progettista aveva 3 giorni: il progetto sembra dunque finito, e all’improvviso arriva il cliente con nuove indicazioni. Si tratta di una continua gestione di attività che cambiano di priorità o di sequenza, comportando un rischio di sovraccarico eccessivo. Dal punto di vista dei fornitori, la nostra strategia è quella di essere focalizzati a produrre ed essere quindi bravi a gestire gli articoli speciali: noi siamo strutturati e organizzati per fare all'interno tutto quello che viene costruito ad hoc per il cliente. Quindi, tipicamente, officine meccaniche, trattamenti e cablaggi standard sono le attività che mandiamo in outsourcing, mentre la logica e il controllo della nostra macchina sono fatti internamente. Non abbiamo un PLC a bordo, ma la logica è fatta su schede progettate interamente da noi che facciamo poi produrre all'esterno, perché l'oggetto deve stare in mano all'uomo e quindi non possiamo permetterci dimensioni troppo elevate in quanto la sfida di ogni giorno è realizzare dispositivi sempre più piccoli. Anche se devo movimentare un oggetto che pesa 200 kg o 300 kg vale lo stesso discorso, perché altrimenti lo strumento in mano all’operatore diventa eccessivamente pesante, andando contro quella che è la nostra mission, ovvero aiutare l’operatore. Il fatto che l’operatore debba interagire con il nostro prodotto porta il cliente a esporre chiaramente una serie di problematiche del tipo: come l'operatore capisce cosa deve fare? Come riesce a vedere le cose? O anche i comandi, la visibilità o tutta una serie di aspetti che sono legati alla soggettività molto spesso. Noi progettiamo questi dispositivi con dei criteri specifici, in modo da avere un certo tipo di pulsante a portata di mano. Quando poi il cliente viene per un collaudo, molto spesso ci chiede: “me lo porti su questo? Questo invece lo voglio qua, ecc.” Siamo quindi come un sarto che realizza l'abito su misura, però capite che a livello industriale questo deve essere un po’ modularizzato e gestito, altrimenti diventa uno stillicidio di tempi e costi. Fondamentalmente abbiamo diverse famiglie di impianto. Nello specifico, abbiamo diviso i manipolatori in due aree: manipolatori a fune e manipolatori rigidi. All'interno di entrambe le categorie ci sono poi tante tipologie di modelli che tendono a rispondere ad esigenze di differente natura e movimentazione. Tipicamente, i manipolatori a fune servono per pesi troppo pesanti e dove posso arrivare dall'alto; quelli rigidi, invece, vengono utilizzati dove devo entrare e andare sottosquadra fondamentalmente. Facciamo versioni sia fissate a terra, sia su basamento e sia aeree nei carroponi, e il nostro impianto è tipicamente composto da distinte di centinaia di articoli, per darvi un'idea. L'impianto è diviso in due gruppi di articoli: quelli modularizzati e che rappresentano la parte di supporto dell’end effector, per cui abbiamo fatto un lavoro di individuare quelli che sono le altezze delle colonne, la lunghezza dei bracci e le portate in un certo range con dei modelli ben definiti. Essi hanno dietro una distinta tale che se il cliente mi chiede una specifica altezza o lunghezza del braccio, conosco già che cosa mi serve e il relativo ciclo di produzione. Però

capita che facciamo anche strutture completamente speciali e quindi mai fatte prima perché il cliente ha esigenze specifiche. Capita spesso che su commesse di vendita facciamo attività e progetti che sarebbero tipicamente da ricerca e sviluppo. Più ci avviciniamo al pezzo da movimentare e più la parte dell'end effector diventa personalizzata. Anche qui c'è in corso un progetto di modularizzazione, perché in fondo, se da movimentare c'è un motore o una mortadella, le funzioni sono sempre quelle: serve una maniglia, serve una pinza di presa e serve farla ruotare se necessario. Quindi, stiamo cercando di andare verso la modularizzazione anche per l'end effector. È chiaramente tutto più difficile, perché la funzione è quella, ma le dimensioni sono diverse, i pesi sono diversi, le rotazioni possono essere diverse o ancora la maniglia che vuole il cliente può essere diversa. Qui è molto più complesso rispetto al tubolare di una colonna o di un braccio. Dal punto di vista del prodotto e dall'azienda questa è una breve infarinatura di quello che siamo, e se volete vi fornisco anche una breve descrizione del processo, o eventualmente se avete domande sono a vostra disposizione.

Saremmo anche interessati al processo se per lei va bene

Certamente. Ancora prima dell'ordine di vendita, per i componenti che sono stati modularizzati, cioè quello che vi ho detto prima (la parte di supporto, il motore; in generale la parte standard) vengono definiti dei piani di previsione con il tecnico, e si realizza un MPS per l'anno prossimo. Si compiono quindi delle previsioni su quanti modelli e sulle quantità dei vari modelli, in maniera tale da lavorare con il MPS, che espone i suoi piani. Si ottengono quindi delle MRP, che a loro volta esplodono tutti i materiali necessari. Quindi noi lavoriamo su previsione per quanto riguarda la parte modularizzata, mentre in merito alla parte su commessa, cioè quella personalizzata dal cliente, tipicamente progettiamo e poi produciamo l'end effector. È per questo che il sistema interno di produzione è stato selezionato per rispondere a questa seconda esigenza. Cioè, il progettista finisce di fare idee il progetto e con le tavole in mano devo produrre subito gli oggetti che tipicamente sono quantità uno, mentre invece gli articoli che escono dall'MPS o MRP sono a lotti ripetitivi, la cui realizzazione è delegata normalmente all'esterno sia per la produzione di pezzi che di sottogruppi. Quando arriva l'ordine noi abbiamo un configuratore di prodotto con il quale il commerciale definisce il modello, la taglia, la lunghezza e in generale altre specifiche. Per la parte modularizzata, nel momento in cui viene configurato l'oggetto, si ottiene subito una distinta, ovvero degli ordini di produzione, i fabbisogni di materiali e altro. Per la parte legata all'end effector, invece, abbiamo un elenco di funzioni che richiede il cliente, che vengono riassunte in quello che noi chiamiamo "master di commessa". Per riassumere, nel configurato c'è quello che il commerciale ha venduto, sperando che soddisfi le richieste del cliente, mentre col master di commessa andiamo a raccogliere le informazioni che vi dicevo prima: cosa devi movimentare, le caratteristiche di tale oggetto, informazioni sul ciclo di lavoro, i dati ambientali, il layout, eventuali normative ATEX e altro ancora. Tutto questo in modo tale che il progettista, nel momento in cui prende in mano l'ordine di vendita, può dire: "il cliente richiede questo e il commerciale gli ha venduto

tale impianto". Così facendo può concludere con "ciò che è stato venduto soddisfa le esigenze del cliente", piuttosto che "c'è un disallineamento, è stato venduto un impianto che muove 80 Kg e invece ce ne vuole uno che ne movimentata 160". Quindi, i dati di input per il processo sono essenzialmente questi due, ovvero il configurato e il master di commessa, e da qui il progettista elabora un progetto che viene mandato al cliente a livello di modello tridimensionale. Se viene approvato, il progettista realizza le tavole e inizia dunque il processo produttivo, ovvero si cominciano a realizzare i componenti in ferro. È chiaro che durante questo processo, se il cliente richiede delle modifiche (gli esempi che vi dicevo prima) si innescano dei loop. Qui iniziamo a gestire tutte quelle che sono le attività non previste inizialmente, anche perché non potremmo pianificare all'inizio di dover gestire eventi che poi non si verificano: si genererebbe un planning molto lungo quando poi invece non lo è. In altre parole, si cercano e si devono trovare dei compromessi. Ad ogni modo, quando cominciano questi loop, un tempo di progettazione di 5 giorni può anche diventare 20, e questo influenza il planning di tutto il resto. Per quanto riguarda invece il processo di realizzazione del manipolatore speciale, una volta che sono uscite le tavole, l'ufficio di produzione traduce queste tavole in ordini di produzione ai reparti, liste di prelievo ai magazzini oppure richieste di acquisto ai fornitori per i codici mancanti. Le lavorazioni meccaniche producono una serie di pezzi, i magazzini preparano una serie di pezzi e le due cose si congiungono al montaggio meccanico, dove tali pezzi vengono trattati e assemblati. In questa fase viene compiuta anche una prima verifica del progetto, cioè viene esaminato l'oggetto meccanico interamente montato senza ancora il cablaggio. La progettazione comincia quindi a eseguire questo collaudo intermedio, siccome l'oggetto è la prima volta che viene prodotto. Noi costruiamo fundamentalmente tanti prototipi che si assomigliano, ma molto spesso differiscono per dei piccoli particolari che possono comportare nuove criticità. E anche qui riaffiora il tema di gestire le tempistiche delle potenziali anomalie. La progettazione, infatti, ancora prima di lanciare in produzione, svolge un riesame del progetto dal punto di vista meccanico, che consente di evitare la messa insieme di cose che non funzionano. Infatti, questo è stato per noi un passo in avanti molto importante, perché ha filtrato e ha permesso di vedere, quando è ancora tutto virtuale, eventuali problematiche. Ad ogni modo, una volta completato il collaudo meccanico intermedio, si passa al reparto di cablaggio dove viene costruito l'impianto pneumatico o elettrico (a seconda di quello che serve) e anche qui viene realizzato un collaudo. E infine c'è il collaudo funzionale, che per noi rappresenta una cosa importante ma allo stesso molto invasiva, perché disponiamo di un capannone dedicato solo a quello. Abbiamo infatti delle strutture fatte ad hoc per poter ricostruire il layout del cliente, e come vi dicevo prima nel 70% dei casi è il cliente stesso che viene qui per il collaudo. In tal caso si prende proprio un campione del cliente, e si esegue il ciclo previsto per verificare che il tutto funzioni. Il collaudo, chiaramente, viene eseguito in presenza del project manager e del responsabile della progettazione di commessa, e come dicevo prima anche dei clienti. L'impianto che esce dal collaudo è quindi funzionante, in quanto non può uscire un impianto che non garantisce tutte le funzionalità: noi non abbiamo scarti. A gestire tutto il processo è il gestionale, quindi anche MPS, MRP, ordini di produzione classici, ecc. A livello di risorse,

invece, stiamo facendo il go-live di un nuovo schedatore attraverso cui la progettazione di lavorazioni, i montaggi e i cablaggi di tutte le commesse sono pianificati in modo tale da poter gestire le date di consegna. Questo è il processo di quello che noi chiamiamo “impianti speciali”, ma esistono poi gli impianti “a catalogo”, ovvero quelli che hanno un gancio o che hanno un end effector non molto elaborato. Per essi esiste appunto una linea dove abbiamo applicato qualche principio lean in maniera più estensiva rispetto al resto, e praticamente noi qui montiamo sul venduto, non abbiamo gruppi a magazzino. Partiamo cioè da zero, dalla singola vite, per arrivare a montare l’impianto finito sempre sul venduto. Siccome non riusciamo a far “camminare” l’impianto, disponiamo di alcune postazioni fisse, il compromesso che abbiamo fatto è che montiamo lotti di 20 pezzi fondamentalmente. Quindi ci sono 20 impianti, per cui abbiamo delle isole dedicate al montaggio del gruppo uno, del gruppo due, ecc. e poi andiamo all'isola di montaggio a seconda che sia di una taglia piuttosto che di un'altra, oppure che sia a rotaia invece che a pavimento: ci sono tante isole su cui montiamo l'oggetto. In questo caso i tempi di attraversamento sono più veloci perché è tutto standardizzato, però non siamo ancora riusciti a fare una linea a flusso teso vera e propria, perché, ripeto, siccome gli impianti hanno configurazioni diverse con altezze che raggiungono i 3m / 4m, non abbiamo gli spazi per farli camminare e, soprattutto, l'investimento di una linea simile non è ancora giustificato per la nostra dimensione. Siamo costretti, quindi, una volta che abbiamo i gruppi realizzati sulle singole isole (che sono sempre attrezzate per produrre questo tipo di gruppo), a dover montare il tutto in una postazione fissa. Tenete presente che questi impianti hanno quasi un migliaio di varianti, e quindi tutte le combinazioni danno una variante diversa ogni volta. Perciò, non è detto che sull'isola del gruppo uno o del gruppo due venga prodotto sempre lo stesso pezzo, ma sono tante le varianti che servono. Poi c'è tutta la parte di service: chiaramente andiamo a fare l'installazione e quant'altro. Questo per darvi una panoramica della nostra realtà.

Quindi, se non ho capito male, su questa linea avete applicato dei principi lean. Per quale ragione avete deciso di adottarli? Cosa vi ha spinto?

Abbiamo notato che, pur con migliaia di varianti, i gruppi sono concettualmente sempre quelli, e abbiamo anche visto che era possibile mettere a disposizione dell'operatore, intorno alla postazione di montaggio, i componenti necessari per tutte le varianti. In altre parole, era possibile tenere attrezzata una postazione con le varie cassettoni in maniera tale che l'operatore, sebbene avesse dovuto montare 20 gruppi in varianti diverse, sarebbe riuscito a prendere tutto da lì. Una volta che viene realizzato un gruppo, esso viene sistemato in un buffer (quello che potrebbe essere considerato un supermercato in ottica Lean) che funge da magazzino di prelievo per chi sta nella postazione a valle. Riassumendo, quello che ci ha spinto è stato innanzitutto la fattibilità, poiché se tutti i componenti necessari non potevano essere disposti nella postazione sarebbe stato impossibile. Prima si montava a lotti, ma poi alla fine non avevi tutte le varianti. Montavamo solo quelle che andavano di più, però prima o poi arrivava la richiesta di una variante che non

possedevo. E siccome abbiamo tantissime varianti, sarebbe stato un immobilizzo di magazzino enorme. Quindi questo ci ha dato la flessibilità di dire: quello che serve lo faccio al momento.

Poi noi avremmo alcune domande più specifiche in merito ad alcune tecniche lean. Per esempio, per quanto riguarda i fornitori, voi avete politiche di just in time? Usate il kanban? Avete delle politiche di feedback verso i fornitori?

Non abbiamo alcun kanban, e per just in time dipende cosa si intende. Noi col fornitore abbiamo accordi quadro con consegne mensili o settimanali, e se si vuole vedere il just in time in questo senso allora diciamo di sì. A seconda dei piani MPS che dicevamo, il fornitore sa che deve consegnare l'anno prossimo un numero specifico di pezzi al mese o alla settimana. Come dicevo, non c'è alcun kanban, o addirittura il kanban in linea come fanno tanti, anche perché non abbiamo ancora volumi tali da essere massa critica per i fornitori. Abbiamo provato a fare questo discorso, per esempio, per gli articoli di classe C (minuterie): il nostro magazzino doveva prendere la cassetta delle viti e portarla in linea. Abbiamo compiuto questo esperimento, ma i fornitori sul mercato si muovono per progetti di questo tipo solo con volumi diversi. Non abbiamo infatti ancora un volume tale da poter trovare un fornitore: lo abbiamo cercato, ma non siamo ancora a quei livelli lì. I fornitori strategici sono gestiti con dei piani a cadenza con frequenza che chiediamo noi, e se i fornitori critici sono una cinquantina tenete presente che l'intero parco fornitori ne comprende 400. Questo perché sull'end effector abbiamo esplosioni di oggetti o di componenti che sono specifici per un cliente, o addirittura il cliente ci richiede di usare una determinata marca. Quindi, i fornitori critici per lo standard sono molto pochi, ma se consideriamo tutti gli ordini che emette l'ufficio acquisti, allora nell'80% dei casi sono relativi a specificità dell'end effector. Per completare il tema dei fornitori, è da qualche anno che i fornitori critici sono diventati più indipendenti. In precedenza, molto spesso, eravamo noi che supportavamo il fornitore dandogli i materiali o i pezzi.

In merito invece alla produzione, sebbene ci abbia già descritto il processo, avete necessità di ridurre i tempi di setup piuttosto che livellare la produzione? Avete metriche per misurare l'efficienza?

Questo discorso va differenziato a seconda dei reparti. Abbiamo in primo luogo le lavorazioni meccaniche, dove abbiamo appunto tematiche di setup, perché per fare un pezzo su una macchina utensile è più il tempo di setup che il tempo di esecuzione del pezzo stesso. Il lavoro che è stato fatto e che si sta tuttora facendo è quello di avere macchine con attrezzaggio più veloce e flessibile possibile, al fine di diminuire il tempo di setup (che costituisce il vero costo dell'oggetto). Oltre che l'hardware, sono chiaramente coinvolte anche le persone, poiché il loro addestramento risulta essere una risorsa critica. Se parliamo infatti di lavorazioni meccaniche, l'operatore che sta sulla fresa ha una serie di disegni e deve quindi essere autonomo per svolgere tutte le lavorazioni necessarie. Il che è ben diverso dall'avere lavoratori che schiacciano un bottone nel momento in cui gli arriva un programma in macchina insomma. A riguardo, i programmi li realizziamo

anche noi chiaramente con un ufficio CAM, ma capita molto spesso che sia l'operatore a doverlo fare sulla macchina. Detto questo, in generale, si sta lavorando per cercare di ridurre al massimo i tempi di setup. Inoltre, abbiamo in corso un progetto per eliminare la carta. Infatti, ho parlato poco fa di una serie di disegni, ma stiamo lavorando per far arrivare all'operatore in postazione il prossimo pezzo che deve realizzare, con chiaramente il disegno, e anche l'informazione di attrezzaggio con foto, istruzioni e disegni. Cosa che oggi, invece, è legata ancora alla memoria del lavoratore. È proprio il know-how aziendale che vogliamo rendere fruibile a tutti. Ad oggi, indicatori specifici da questo punto di vista non ne abbiamo, ma con questo progetto l'obiettivo è quello di averli per capire il tempo speso. Oggi abbiamo già un sistema che raccoglie tutti i costi relativi a una singola commessa, e adesso, quindi, stiamo entrando più nel dettaglio per capire dove fare efficienza, sebbene siano già presenti alcuni indicatori di efficienza con un più alto livello. Di conseguenza, con questo progetto sapremo, per esempio, se in questo periodo abbiamo prodotto di più del periodo precedente. Per quanto riguarda invece il montaggio, il cablaggio e il collaudo, il tempo di setup è come se non esistesse. Quindi il setup non ce l'abbiamo, ma nei medesimi reparti di montaggio e cablaggio è sfruttato al massimo il principio di livellare le attività. Ogni giorno arrivano circa 400 commesse, che navigano costantemente dalla progettazione al collaudo. Non vi nascondo che ad oggi la valvola di sfogo maggiormente utilizzata è quella degli straordinari, perché a fronte di un progetto che non è andato bene o per cui un cliente chiede in ritardo una modifica, la data di consegna rimane quella. Si potrebbe quindi lavorare in due come da altre parti, ma noi questa soluzione molto spesso non possiamo implementarla poiché, banalmente, chi fa il progetto e lo ha seguito dall'inizio alla fine conosce le cose, ma un operatore coinvolto all'improvviso impiega molto tempo a entrare nell'ottica. Questa è una rigidità che dobbiamo risolvere, ma una potenziale soluzione è difficile da individuare. Dunque, non è vero che raddoppiando le risorse raddoppia anche la produttività, ma si riscontra soltanto un incremento del 50% nel migliore dei casi. La schedulazione che facciamo permette quindi di comprendere come i vari reparti saranno impegnati nel tempo, permettendoci di livellare il carico di lavoro nel futuro. È possibile, infatti, prevedere il momento dei picchi se dovessi rispettare tutte le date, e si può agire di conseguenza spostando risorse, facendo straordinari o attivando risorse esterne. Il problema è che non abbiamo dei cicli definiti sullo speciale, e sulla linea che vi ho detto prima abbiamo mille varianti con contenuti di lavoro molto diversi, che vanno dalle quattro alle otto ore. Ciò crea differenze anche del 100%, e sullo speciale tale percentuale è ancora maggiore a causa dei loop. Ad oggi guardiamo anche a due o tre mesi per cercare di capire dove saranno i picchi, che però sono ipotetici. Il nostro problema concerne proprio la gestione di questi momenti di eccessivo lavoro, i quali molto spesso non dipendono dalle nostre risorse, ma anche del cliente. Per esempio, durante il mese di luglio e di dicembre, i clienti ci contattano sempre il giorno prima della chiusura. Se quindi per un mese sono state anticipate commesse a causa di un basso carico di lavoro, negli ultimi due giorni arrivano cinquanta "benestare", creando quindi un'eccessiva ondata di lavoro.

Visto che abbiamo toccato il tema della forza lavoro, abbiamo alcune domande proprio a riguardo. Innanzitutto, le attività di assemblaggio vengono eseguite in squadre o singolarmente? Tipicamente, ogni operatore sa svolgere la sua mansione, e in genere la esegue da solo. Il lavoro diventa in team quando ci sono dei problemi, per esempio quando c'è un problema nel collaudo intermedio o nel collaudo finale. Il team dunque comprende il montatore, il cablatore, il progettista elettrico e il progettista meccanico e si viene a creare in automatico ogni volta che emerge un problema.

La forza lavoro è multifunzionale?

Anche qui è necessaria una distinzione per reparto. La progettazione meccanica fa esclusivamente il suo compito, come anche la progettazione elettrica. Però, sempre nell'ambito della progettazione meccanica, c'è chi possiede delle competenze e attitudini diverse, in quanto gli oggetti da progettare non hanno tutti lo stesso livello di complessità. Quindi, è presente a tutti gli effetti una differenziazione nella progettazione sulla base del grado di difficoltà della commessa. Noi abbiamo tre fasce di difficoltà di progettazione, e di conseguenza abbiamo risorse che sanno svolgere solo quelle di fascia A, quelle che sanno svolgere la A e la B, e infine quelle adatte a tutto. Questo discorso coinvolge chiaramente anche la pianificazione, in quanto se arriva un ordine che può fare chiunque non esistono vincoli, ma se fosse di classe C lo saprebbero portare a termine solo poche persone, e questo può portare a difficoltà di pianificazione. A livello di lavorazioni meccaniche, l'addetto alla fresa lavora solo alla fresa, mentre chi è in saldatura lavora in saldatura. E poi ci sono livelli di competenza anche qui, così come anche a livello di montaggio, dove sono presenti montatori di fascia A, di fascia B e di fascia C, che portano a compiere il medesimo ragionamento. A livello di cablaggio, invece, abbiamo chi sa compiere sia l'elettrico che quello pneumatico, chi sa fare solo l'elettrico e chi solo lo pneumatico. Chiaramente l'obiettivo è di far crescere tutti, affinché qualsiasi ordine arrivi possa essere gestito dal maggior numero di persone. Oggi, quindi, la stratificazione è fatta in funzione delle competenze e delle capacità di ognuno e lo stesso schedatore possiede un'anagrafica delle risorse per gestire il tutto. In ottica Lean, il fatto di prendere una risorsa e assegnarle un'attività molto diversa dal solito è quindi molto difficile da realizzare. Come ho detto prima, tra cablaggio elettrico, pneumatico o collaudo c'è interfunzionalità, ma un cablatore non viene mandato al montaggio meccanico in quanto non è in grado. E anche a livello di competenze richieste il gradino è un po' elevato.

Come vengono mantenuti i rapporti con i clienti?

Il rapporto con il cliente può essere principalmente di due tipi: il primo quando chiede l'installazione, dove si va quindi a casa del cliente, mentre il secondo concerne la proposta di manutenzione programmata o preventiva. In Italia, purtroppo, lo fanno in pochissimi, mentre all'estero un po' di più. In generale, dunque, i rapporti nel post-consegna vengono gestiti dal customer e comprendono questi momenti chiave: installazione e manutenzione preventiva o programmata, oppure se viene ricevuta qualche richiesta di

ricambio. Dopodiché, chiaramente c'è anche il processo commerciale che segue il cliente. Dal punto di vista service, invece, sono le due strade enunciate prima.

Avete qualche strumento per la gestione visiva della produzione?

Ancora no, ma stiamo andando in quella direzione. E io per visual management mi riferisco al rendere pubblico l'andamento della produzione. Non l'abbiamo mai fatto perché molto spesso, a causa della complessità che abbiamo, ha senso pubblicare soltanto parametri che abbiano un significato. A oggi quello che facciamo è, con tutti i dipendenti, due riunioni all'anno in cui vengono forniti il nuovo piano e i numeri a livello di company, quindi quanto abbiamo fatturato, quanti sono gli ordini, quali sono i progetti in corso di ricerca e sviluppo ed i processi. Tutti vengono messi al corrente, ma l'idea che abbiamo è invece quella di illustrare degli indicatori più di dettaglio, come il numero di impianti realizzati ogni mese piuttosto che in una settimana o altre cose simili.

Dopo aver applicato alcune tecniche di miglioramento, vi ritenete soddisfatti? Avete riscontrato dei miglioramenti?

I miglioramenti e le revisioni che vi ho detto prima le tocchiamo ogni giorno. Un esempio è che abbiamo appena rivisto il processo di immissione dei manuali delle nostre macchine. Tipicamente, il manuale delle macchine usciva sempre due mesi dopo che abbiamo installato la macchina, ed è impensabile perché il cliente ne ha bisogno subito, anche per questioni di sicurezza. Abbiamo rivisto fondamentalmente un processo di documenti, e in ottica Lean sono state anticipate attività che comunque si facevano anche prima, ma sempre dopo. Questo perché c'è sempre urgenza di produrre le cose nuove, e quindi gli aggiornamenti dei disegni, degli schemi e dei cicli della macchina che servivano all'editoria. La cosa è quindi stata anticipata, e adesso è ormai da tre mesi che i manuali stanno uscendo in concomitanza con la macchina. Processi di questo tipo sono quindi stati compiuti, ma ce ne sono tanti altri in corso. Citandone un altro, la produzione dell'end effector vuol implicare la realizzazione di disegni e cicli che guardano una volta tipicamente fare questo col classico processo di esce il disegno lo industrializzo, faccio il ciclo e la sua distinta poi mando produzione vuol dire che questo processo qua costa video che neanche fare i pezzi e ci si è sempre inventati un sistema di farlo fuori dal gestionale perché fondamentalmente il ciclo dei pezzi lavorati in macchina li fanno i reparti perché non c'è un'industrializzazione dello speciale, l'industrializzazione la facciamo per le parti standard. Questo chiaramente con uno strumento gestionale rigido che invece ti impone l'ordine di produzione il suo ciclo la sua distinta eccetera è un po' complicato. Stiamo investendo in questo aspetto in quanto vogliamo gestire in maniera strutturata questo tipo di processo che necessita di un processo diverso dalla classica industrializzazione. Perché altrimenti non ne usciremmo vivi, in quanto significherebbe spendere tempo e risorse su un oggetto che produco una volta soltanto. In generale, la revisione dei processi ci sta fornendo un sacco di spunti per migliorare. Cerchiamo di valorizzarne i successi proprio per stimolare la gente a cambiare,

perché, come penso abbiate visto o sentito, il problema è far cambiare alle persone il modo di svolgere le diverse attività. Sono sempre stati abituati o focalizzati su una cosa, e molto spesso ci si scontra con persone che dicono “abbiamo sempre fatto così”. Ed è proprio questo il problema di ogni giorno. Però volevo sentire anche voi se mi date qualche spunto per dire state facendo questa attività nell'ambito del vostro percorso di studi, di progetti specifici ditemi anche voi da parte vostra cosa vedete nel mondo Lean, nel mondo processi e quello che state affrontando, perché ho capito che adesso non ricordo chi di voi uno è alla LIUC uno è al Politecnico, se ho capito bene. Se mi potete dare anche qualche feedback di quello che vedete a livello generale non vi sto chiedendo. Lo state facendo all'interno del vostro percorso di studi questo tipo di attività?

La variabilità influisce sull'implementazione delle vostre pratiche lean?

Assolutamente. Io ho approcciato il Lean anni fa, facendo anche corsi e master. I colleghi che avevano produzioni ripetitive andavano a nozze con la value stream map, bilanciamento, buffer e altro. Mentre nel mio caso, avendo circa 986 varianti, contenuti di lavoro che vanno dalle quattro alle otto ore e altri problemi, le cose si complicavano. Mi sono detto “qui siamo degli animali rari”, e non possiamo applicare il Lean così come da libro. Nel tempo, poi, si trova un compromesso e iniziano ad applicare dei principi un po' più generali, senza per esempio eseguire la spaghetti chart per ogni isola. E' più facile infatti affrontare il tema della riduzione degli sprechi, la modularizzazione e altro ancora. L' importante è prendere i principi e adattarli ai processi, perché altrimenti c'è il rischio di incrementare i costi. Per esempio, avevamo realizzato un progetto per quanto riguarda i bilanciatori che vendiamo con il gancio, e secondo la Lean bisognava montare un pezzo per volta. Noi ci abbiamo provato, ma ci costava di più: il tema del lotto da 20 è stato quindi un compromesso. Ripeto, per chi fa sempre le stesse cose con cicli ben definiti, il tutto è molto più facile, più lineare. Io dico sempre che noi siamo un'azienda che gestisce complessità.