

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



Tesi di Laurea Magistrale

## Applicazione del project management alla *Digital Transformation* in un'azienda aerospaziale. Il caso *Collins Aerospace*

**Relatrice:**

Prof.ssa Ing. Anna Cagliano

**Tutor aziendale:**

Dott. Francesco Accossato

**Candidata:**

Carolina Baldacchino

Anno Accademico 2018 - 2019

*Alla mia famiglia  
perchè mi ha dato ali per volare  
e radici per tornare.*

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>13</b>
<b>1 Il Project Management nell'<i>aerospace industry</i></b>	<b>19</b>
1.1 L' <i>Aerospace Industry</i> . . . . .	20
1.2 Che cos'è il <i>project management</i> ? . . . . .	23
1.3 Ciclo di vita di un progetto . . . . .	27
1.4 Gli strumenti del <i>project management</i> . . . . .	30
1.4.1 Work Breakdown Structure . . . . .	30
1.4.2 Organization Breakdown Structure . . . . .	32
1.4.3 Responsibility Assignment Matrix . . . . .	32
1.4.4 Tecniche di <i>scheduling</i> . . . . .	34
1.4.5 Analisi dei costi . . . . .	37
1.4.6 <i>Risk Management</i> . . . . .	38
1.4.7 Monitoraggio e controllo . . . . .	39
1.5 Approcci del <i>project management</i> . . . . .	41
1.5.1 Approccio <i>Waterfall</i> . . . . .	41
1.5.2 Approccio <i>Agile</i> . . . . .	43
1.6 Esempi tratti dalla letteratura e <i>research gap</i> . . . . .	52
<b>2 Microtecnica S.r.l.</b>	<b>61</b>
2.1 Dalla Microtecnica S.r.l. alla UTC . . . . .	61
2.2 Lo stabilimento di Torino . . . . .	65

2.3	I prodotti . . . . .	66
2.3.1	Sistemi di attuazione primari per aeromobili ad ala rotante . . . . .	67
2.3.2	Sistemi di attuazione secondari per velivoli ad ala fissa . . . . .	68
2.3.3	Valvole e servo-valvole . . . . .	69
2.3.4	<i>Rigs</i> . . . . .	69
2.3.5	Altri prodotti . . . . .	70
2.4	La cella Spazio e il progetto <i>Ariane</i> . . . . .	71
<b>3</b>	<b>Industria 4.0 e <i>Digital Transformation</i></b>	<b>74</b>
3.1	Che cos'è l'Industria 4.0? . . . . .	74
3.1.1	L'Industria 4.0 nel settore <i>aerospace</i> . . . . .	78
3.1.2	<i>Digital Transformation</i> . . . . .	78
3.1.3	Il MES nell'Industria 4.0 . . . . .	81
3.2	I nove cluster tecnologici dell'Industria 4.0 . . . . .	82
3.2.1	<i>Big data e data analytics</i> . . . . .	84
3.2.2	<i>Cyber-security</i> . . . . .	86
3.2.3	<i>Horizontal &amp; Vertical system integration</i> . . . . .	88
3.2.4	<i>Cloud</i> . . . . .	90
3.2.5	<i>Internet of Things</i> . . . . .	93
3.2.6	<i>Advanced Manufacturing Solutions</i> . . . . .	95
3.2.7	<i>Additive Manufacturing</i> . . . . .	96
3.2.8	<i>Augmented Reality</i> . . . . .	99
3.2.9	<i>Simulation modelling</i> . . . . .	101
3.3	Benefici dati dall'Industria 4.0 . . . . .	104
<b>4</b>	<b>Solumina G8</b>	<b>105</b>
4.1	Introduzione . . . . .	105
4.2	Funzionalità . . . . .	108
4.3	Passaggio da Solumina G7 a G8 . . . . .	114

4.4	Interfacce con altri software e sistemi . . . . .	116
4.5	Matrice dei ruoli e privilegi . . . . .	117
<b>5</b>	<b>Trasformazione digitale in Microtecnica</b>	<b>121</b>
5.1	Scopo dell'implementazione . . . . .	122
5.1.1	Da <i>paper</i> a <i>paperless</i> . . . . .	123
5.1.2	Tracciabilità . . . . .	125
5.2	Nuovi flussi . . . . .	126
5.2.1	Analisi AS-IS . . . . .	128
5.2.2	Analisi TO-BE . . . . .	131
5.3	<i>Change Management</i> . . . . .	133
5.3.1	Il cambiamento in Microtecnica . . . . .	136
5.4	Risultati attesi . . . . .	137
<b>6</b>	<b>Applicazione delle teorie del <i>project management</i> al progetto di <i>Digital Transformation</i> attraverso Solumina G8</b>	<b>138</b>
6.1	Approccio utilizzato . . . . .	139
6.2	Struttura Organizzativa e <i>Project Governance</i> . . . . .	144
6.3	Introduzione dell'attività . . . . .	147
6.3.1	Gestione dei cicli di lavorazione . . . . .	150
6.3.2	Gestione dei test . . . . .	152
6.4	Strumenti di supporto alle attività . . . . .	154
6.4.1	<i>Work Breakdown Structure</i> . . . . .	154
6.4.2	<i>Organization Breakdown Structure</i> . . . . .	157
6.4.3	<i>Responsibility Assignment Matrix</i> . . . . .	159
6.4.4	Diagramma a barre di Gantt . . . . .	160
6.4.5	Tecniche reticolari . . . . .	161
6.5	Costi . . . . .	163
6.6	Rischi . . . . .	165

6.7	Monitoraggio e controllo delle risorse . . . . .	179
6.8	<i>Burndown Chart</i> . . . . .	181
6.9	Considerazioni sulla gestione del progetto . . . . .	182
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>184</b>
7.1	Osservazioni sul lavoro di tesi . . . . .	184
7.2	Benefici portati all'azienda dal lavoro di tesi . . . . .	185
7.3	Limitazioni del lavoro di tesi . . . . .	186
7.4	Passi futuri che l'azienda può compiere sulla base dei risultati ottenuti . .	187
	<i>Ringraziamenti</i>	<b>189</b>
	<b>Riferimenti</b>	<b>192</b>

# Elenco delle figure

1	<i>Macro schedule</i> del processo di implementazione . . . . .	14
2	Parte gestita . . . . .	15
3	Il piano <i>paper</i> , <i>paperl-lite</i> e <i>paperless</i> . . . . .	16
1.1	Velivoli ad ala fissa [30] . . . . .	21
1.2	Velivoli ad ala rotante [30] . . . . .	21
1.3	Missili [30] . . . . .	22
1.4	Lanciatore <i>Ariane 5</i> [38] . . . . .	22
1.5	Relazione tra Progetti, Programmi e Portfolio [21] . . . . .	24
1.6	<i>The Ferrous Triangle</i> [21] . . . . .	26
1.7	Ciclo di vita del progetto [30] . . . . .	27
1.8	Fasi del <i>project management</i> [37] . . . . .	29
1.9	WBS generale del <i>project</i> di un velivolo (Flouris e Lock, 2008) . . . . .	31
1.10	OBS della gestione di uno <i>space shuttle</i> [39] . . . . .	32
1.11	Esempio di RAM nella costruzione di un dispositivo aerospaziale [40] . . . . .	33
1.12	<i>Gantt Chart</i> per la progettazione di un componente aereo (Flouris e Lock, 2008) . . . . .	35
1.13	<i>Activity on node</i> VS <i>Activity on arc</i> . . . . .	36
1.14	Esempio di CBS [47] . . . . .	37
1.15	Esempio <i>s-curve</i> sullo scostamento dei costi [47] . . . . .	40
1.16	<i>Waterfall project management method</i> [22] . . . . .	41
1.17	<i>Agile project management method</i> [24] . . . . .	44

1.18	Ciclo <i>Plan-Do-Check-Act</i> [27]	45
1.19	<i>Agile umbrella</i> [25]	46
1.20	<i>Scrum Flow</i> per uno <i>Sprint</i> (SCRUMstudy, 2006)	48
1.21	<i>Agile VS Waterfall risk</i> [15]	49
1.22	Come il <i>Ferrous Triangle</i> cambia tra metodologia <i>Waterfall</i> ed <i>Agile</i> [29]	51
1.23	JAS 39E Saab Gripen E [48]	52
1.24	Satellite artificiale per la missione <i>Einstein Probe</i> [48]	54
1.25	<i>Waterfall DO-178B</i> (VanderLeest e Buter, 2009)	57
1.26	<i>Agile DO-178B</i> (VanderLeest e Buter, 2009)	58
2.1	Logo Microtecnica (Utas, 2018)	62
2.2	Logo UTC Aerospace Systems (Utas, 2018)	62
2.3	Logo Collins Aerospace [5]	62
2.4	Esempio di alcuni output del gruppo UTC (Utas, 2018)	63
2.5	<i>Collins systems</i> (Utas, 2018)	64
2.6	<i>Total 2017 Sales by Customer</i> , (UTAS, 2018)	65
2.7	Lo stabilimento di Torino [6]	65
2.8	Sistemi di attuazione primari per aeromobili ad ala rotante (UTAS, 2018)	67
2.9	Alcuni dei velivoli ad ala rotante su cui sono montati i prodotti MT (UTAS, 2018)	67
2.10	Martinetti idraulici (UTAS, 2018)	68
2.11	Velivoli ad ala fissa su cui sono montati i prodotti MT (UTAS, 2018)	68
2.12	Alcuni esempi di valvole prodotte dalla MT (UTAS, 2018)	69
2.13	Velivoli su cui sono montate le valvole prodotte dalla MT (UTAS, 2018)	69
2.14	<i>A320Neo Nacelle actuation integration rig</i> , (UTAS, 2018)	69
2.15	Altri prodotti realizzati dalla MT (UTAS, 2018)	70
2.16	Ariane 5 [7]	71
3.1	Le tappe della rivoluzione industriale [8]	75

3.2	Tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 [30]	83
3.3	<i>Big data</i> [31]	84
3.4	<i>Four V for Big Data</i> [32]	85
3.5	<i>Cyber-security</i> [8]	88
3.6	Struttura dell'Integrazione Verticale ed Orizzontale [35]	89
3.7	<i>Cloud-computing</i> [30]	90
3.8	La piramide del <i>Cloud</i> [30]	91
3.9	<i>Internet of Thing</i> [30]	94
3.10	Esempio di robotica collaborativa [30]	95
3.11	Progetto realizzato con tecnica FDM, Politecnico di Torino	98
3.12	Esempio di realtà aumentata [30]	100
3.13	Schema di un sistema DSS (Kljajic e Bernik, 2000)	102
4.1	Relazione ERP-MES-PLM	106
4.2	Flusso di dati generali tra ERP-MES-PLM, ( <i>iBase-t</i> , 2018)	107
4.3	Esempio di struttura in sequenza lineare del ciclo di lavorazione [9]	110
4.4	Esempio di struttura complessa del ciclo di lavorazione [9]	110
4.5	Gestione della <i>Data Collection</i> [9]	111
4.6	SPC [9]	113
4.7	Integrazione tra SG8 e le altre aree funzionali ( <i>iBase-t</i> , 2018)	116
4.8	<i>Use-case</i> di un sistema RBAC [30]	118
4.9	Esempio di gerarchia di ruoli	119
4.10	Matrice dei ruoli	120
5.1	Strategia di implementazione per celle e/o sedi	122
5.2	Eliminazione del cartellino cartaceo per l'esecuzione del <i>work order</i>	123
5.3	Eliminazione dei VCA cartacei	124
5.4	Organizzazione dei flussi che costituiscono i processi	126
5.5	Legenda dei software interessati nei vari flussi	128

5.6	<i>Work Instruction - current state</i> . . . . .	128
5.7	<i>Work Order - current state</i> . . . . .	129
5.8	<i>Machines Integration - current state</i> . . . . .	129
5.9	<i>Tool Management - current state</i> . . . . .	129
5.10	<i>Rework Process - current state</i> . . . . .	129
5.11	<i>Repair and overhaul process - current state</i> . . . . .	130
5.12	<i>FAI Process - current state</i> . . . . .	130
5.13	<i>NADCAP Certification - current state</i> . . . . .	130
5.14	Legenda dei software interessati nei vari flussi . . . . .	131
5.15	<i>Work Instruction - future state</i> . . . . .	131
5.16	<i>Work Order - future state</i> . . . . .	131
5.17	<i>Machines Integration - future state</i> . . . . .	132
5.18	<i>Tool Management - future state</i> . . . . .	132
5.19	<i>Rework Process future state</i> . . . . .	132
5.20	Kubler-Ross Change Curve [36] . . . . .	135
6.1	<i>Solumina plane con output</i> . . . . .	143
6.2	Struttura organizzativa coinvolta nel progetto Pilota . . . . .	144
6.3	Struttura della <i>Governance</i> . . . . .	146
6.4	<i>Overall Master Schedule</i> . . . . .	148
6.5	Schedulazione delle attività gestite . . . . .	149
6.6	<i>Velocity Chart</i> dei WI . . . . .	150
6.7	Gestione dei test . . . . .	153
6.8	<i>Work Breakdown Structure</i> del progetto Pilota . . . . .	155
6.9	<i>Organization Breakdown Structure</i> del Pilota . . . . .	157
6.10	<i>Responsibility Assignment Matrix</i> del progetto Pilota . . . . .	159
6.11	Gantt della parte gestita . . . . .	160
6.12	<i>Activity on node</i> . . . . .	162
6.13	Monitoraggio dei costi mediante curva a S . . . . .	164

6.14	Fasi del <i>Risk Management</i> . . . . .	165
6.15	<i>SWOT Analysis</i> [36] . . . . .	166
6.16	Strategie di risposta al rischio (Fonte: pwc) . . . . .	168
6.17	Registro dei rischi a T6 . . . . .	171
6.18	<i>Risk Matrix</i> . . . . .	171
6.19	Andamento dei singoli rischi individuati nel Registro dei Rischi . . . . .	177
6.20	Media della somma dei rischi calcolati rapportati al numero di rischi . . . . .	178
6.21	Uso delle risorse umane richiesto per la durata del progetto . . . . .	179
6.22	Risorse rapportate a carico di lavoro . . . . .	180
6.23	<i>Burndown Chart</i> . . . . .	181

# Elenco delle tabelle

1.1	Differenze tra approccio <i>Waterfall</i> e <i>Agile</i> . . . . .	50
2.1	Sistemi prodotti dal gruppo <i>Collins Aerospace</i> . . . . .	64
2.2	Set Motore e Set Stadio del lanciatore spaziale <i>Ariane</i> . . . . .	72
4.1	Differenze tra Solumina G7 e Solumina G8 . . . . .	115
6.1	Gestione di alcuni aspetti del progetto . . . . .	141
6.2	Matrice delle attività . . . . .	162
6.3	Costi per l'implementazione del MES . . . . .	163

# Introduzione

Le organizzazioni tendono ad evolversi per adattarsi ai mutevoli scenari di business che si presentano, per questo motivo, si avvicinano sempre di più verso processi innovativi e di miglioramento. La trasformazione digitale nasce come trasformazione di business che ha l'obiettivo di velocizzare le attività, i processi, le competenze e i modelli aziendali per sfruttare appieno, in modo strategico e prioritario, i cambiamenti e le opportunità delle tecnologie digitali e il loro impatto. Per implementare il processo allora, vengono applicati i metodi e le tecniche di gestione dei progetti o di *project management*.

Nel caso in esame vengono applicati i principi del *project management* ad un progetto in via di sviluppo in un'azienda aeronautica e aerospaziale, Microtecnica S.r.l., facente parte del gruppo *Collins Aerospace Italy*.

L'elaborato appartiene ad un progetto di ottimizzazione del flusso di gestione e avanzamento della produzione dato dalla digitalizzazione del processo produttivo mediante l'implementazione del *Manufacturing Execution System* (MES), Solumina G8. Il MES è un sistema che fornisce informazioni in tempo reale che consentono la gestione, il controllo e l'ottimizzazione delle operazioni, ovvero tutte le attività del processo produttivo, dal rilascio dell'ordine fino al prodotto finito.

L'attività è stata svolta presso il reparto di *Manufacturing Engineering* di Torino, comunemente chiamato Ingegneria di Produzione, a supporto del project manager del processo di trasformazione digitale della sede di Torino, Luserna San Giovanni e Brugherio, le tre sedi del gruppo *Collins Aerospace Italy*.

Il progetto, svolto nel periodo che va da luglio 2018 a marzo 2019, riguarda la digitalizzazione dell'intera area produttiva della *Collins Aerospace Italy* ma è stato suddiviso in più macro fasi, ognuna relativa ad una sede o reparto aziendale, in modo da poter applicare il processo di digitalizzazione in modo ordinato e sequenziale da poterlo così gestire con più facilità.

Nella prima fase si applica il processo ad una cella di produzione scelta come banco di prova presso lo stabilimento di Torino, la cella *Ariane*, selezionata come *benchmark* per le implementazioni future. La prima fase è trattata come un progetto a parte dentro il progetto, denominato *Pilot Project* o Progetto Pilota.

La cella *Ariane* è situata al secondo piano dello stabilimento di Torino, qui vengono prodotti alcuni dei componenti inseriti nel motore *Vulcain* del lanciatore spaziale *Ariane5*, l'argomento sarà approfondito nel dettaglio nel Capitolo 2 al paragrafo 2.4.

Nelle fasi successive, la *digital transformation* sarà implementata secondo sequenza stabilita nel *Macro Schedule* presente nella Figura 1 nelle celle rimanenti dello stabilimento di Torino, seguono Luserna San Giovanni e per finire Brugherio.

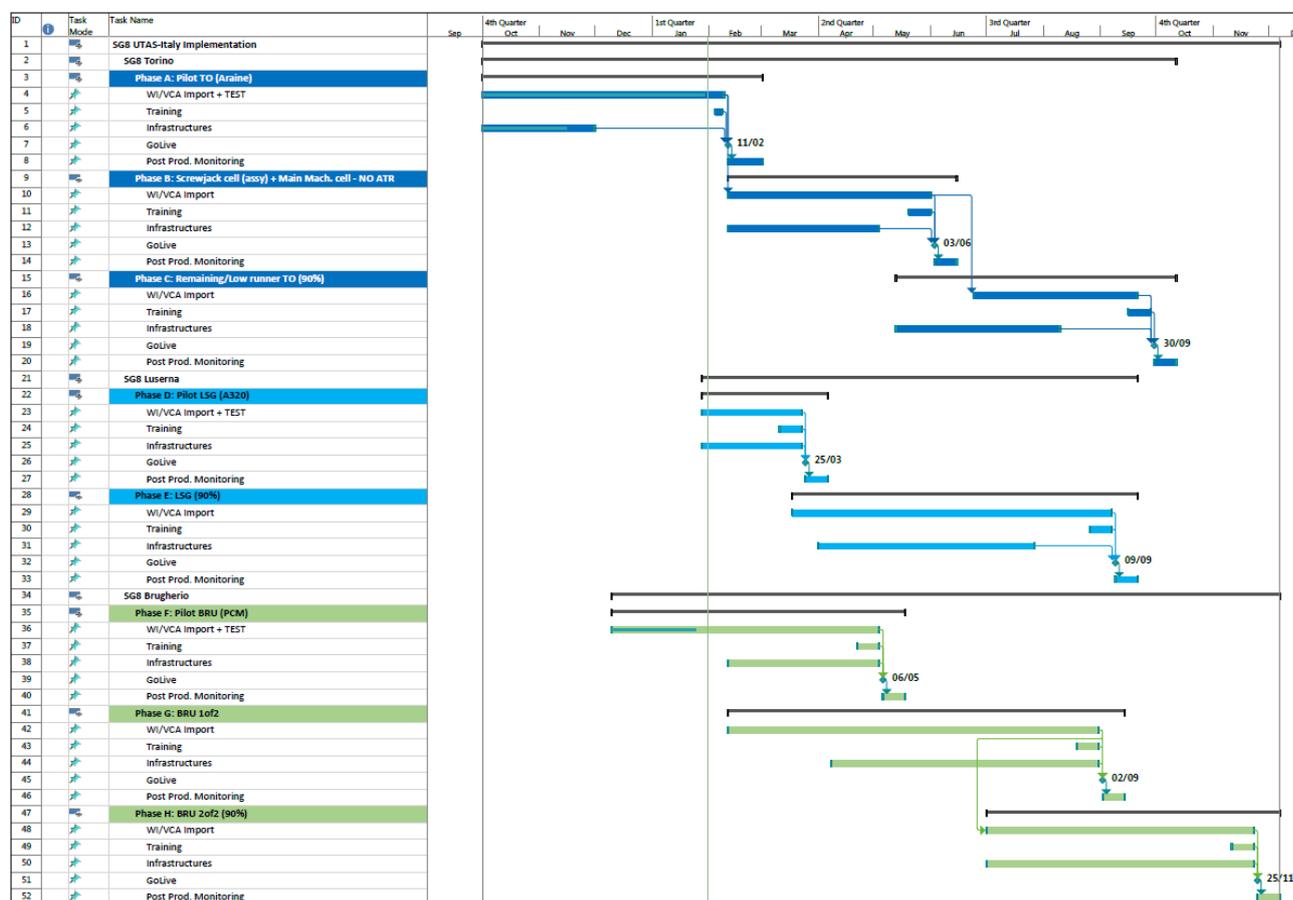


Figura 1: *Macro schedule* del processo di implementazione

L'obiettivo del lavoro di tesi è quello di applicare gli strumenti dati dal project management al progetto Pilota nel processo di digitalizzazione e dimostrare i benefici che quest'ultima possa apportare nel lungo periodo.

Gli strumenti del project management utilizzati, applicati al progetto Pilota, sono tipici della metodologia *Waterfall* o tradizionale, anche se ne sono stati utilizzati altri tipici della metodologia *Agile*, poichè, trattandosi di implementazione di un software, spesso, sono stati utili ai fini del proseguimento e della tracciabilità dei risultati ottenuti.

Le attività principali che hanno permesso l'implementazione del *Pilota* sono state:

1. il caricamento dei cicli di lavorazione e l'esecuzione dei test;
2. la gestione delle infrastrutture hardware e software;
3. la gestione e il caricamento dei certificati di collaudo o VCA;

le tre attività sono state gestite da tre reparti differenti, rispettivamente, Ingegneria di Produzione, reparto IT e Direzione Tecnica, sotto la supervisione del project manager. Ognuna delle precedenti attività è stata scomposta in ulteriori sotto-attività.

Nel progetto in esame è stata gestita nel dettaglio l'attività relativa alla gestione dei cicli di lavorazione e ai test di verifica (Figura 2). I cicli di lavorazione, chiamati anche *work instruction*, contengono, in forma cartacea o digitale, tutte le istruzioni, passo dopo passo, per la realizzazione di un componente.

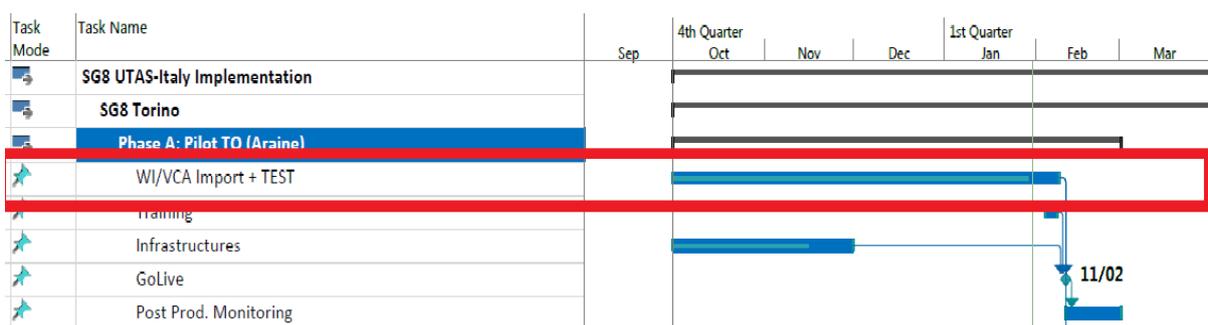


Figura 2: Parte gestita

L'attività è risultata molto complessa perchè, seppur costituita da solo sette attività, ognuna di queste è risultata molto articolata e ha richiesto il coinvolgimento di altri reparti aziendali, clienti e fornitore del software.

Nella gestione dell'attività si è partiti con il popolamento del MES, in questo sarebbero dovuti essere migrati automaticamente i cicli di lavorazione dal software utilizzato prima di Solumina G8, però in attesa di un *tool* che avrebbe potuto permettere il passaggio dei dati, è stato deciso di iniziare a popolare il software in maniera manuale.

Una volta iniziato il processo di caricamento dei cicli, il team ha ritenuto più opportuno lavorare secondo una metodologia *agile*, ci si è concentrati così su un *Minimum Viable Product* o MVP rappresentato da uno dei cicli di lavorazione del reparto *Space*, un'elettrovalvola, e mano a mano, ogniqualvolta veniva apportata una modifica, si decideva se accettare quanto fatto e continuare a implementare o modificare.

Sull'elettrovalvola sono stati così effettuati dei test di diversa natura, ognuno di questi ha permesso di verificare il buon funzionamento del software, problemi di interfaccia con altri software aziendali e simulato l'esecuzione del ciclo in forma *digital*, le attività saranno descritte nel dettaglio nel Capitolo 6.

Una volta concluse le attività del progetto *Pilot*, segue l'evento *Go Live*, cioè il momento in cui il software è utilizzato ufficialmente nella cella interessata dopo la fase di gestione e preparazione.

ARIANE CELL (PILOT)												
January 2019					February 2019				March 2019			
WK 1	WK 2	WK 3	WK 4	WK 5	WK 6	WK 7	WK 8	WK 9	WK 10	WK 11	WK 12	WK 13
	CARB + LRUs WI Validation				CARB (Manual Imported)							
		MIGRATION to TEST			LRUs WI Validation		ALL LRUs (Manual Imported/Migrated)					
							Digitalization Migrated WI + Validation (Sub Components)					
	Parallel Paper/Paperless in Production (At the beginning, paper process will remain official production process)											
	NOTE: Pilot schedule could slightly change due to Production Schedule.											
	ME/ENG Activity (Activity could be compressed)											
	ME + Corporate Team + iBAsEt (SG8 Supplier) Activity											

Figura 3: Il piano *paper*, *paper-lite* e *paperless*

In una prima fase, per non cambiare in modo drastico le abitudini degli operatori coinvolti seguirà un periodo *paper-lite* in cui, nell'esecuzione del piano in forma digitale,

sarà affiancato l'utilizzo della carta, successivamente, seguirà la fase *paperless*, in cui la carta sarà completamente eliminata. Il piano di gestione delle fasi *paper*, *paper-lite* e *paperless* è mostrato in Figura 3.

L'elaborato consta di sette capitoli, nel primo è trattata la contestualizzazione teorica dell'argomento di tesi, si analizza la letteratura scientifica esistente sul tema della tesi, cioè il *project management* in ambito *aerospace* e i vari strumenti di supporto nello sviluppo. In questo capitolo si analizzano alcuni casi tratti dalla letteratura scientifica sul *project management* nel settore aerospaziale, vengono classificati e confrontati alla metodologia applicata nel progetto di tesi.

Il secondo capitolo tratta le attività e il contesto aziendale della Microtecnica S.r.l., si descrive come l'azienda sia passata da una realtà in cui operava sulla meccanica di precisione ad un contesto aziendale internazionale. Inoltre, si riassumono le *business unit* in cui opera la *Corporate*, cioè l'azienda madre. In questo capitolo sarà fornita una breve descrizione della struttura dello stabilimento dove è stato eseguito il processo di implementazione e delle tipologie di prodotti gestite. Il capitolo si conclude con una descrizione approfondita della Cella *Ariane*, banco di implementazione per la fase *Pilot* del processo di trasformazione digitale.

La terza parte dell'elaborato tratterà i principi della *Digital Transformation* e dell'Industria 4.0, si parte dalle origini della rivoluzione industriale sino alla situazione attuale, qui ci si focalizzerà sulle varie applicazioni, sulle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 e su conseguenze e benefici.

Il quarto capitolo darà informazioni più dettagliate sul software Solumina G8, il quale ha permesso il processo di trasformazione digitale, il software offrirà dei benefici nel lungo periodo in termini di costi, tempi e qualità. In questa sezione inoltre, sarà fornita una descrizione di quelle che sono le funzionalità del software, le interfacce con gli altri software e le differenze con la versione precedente, Solumina G7. Il capitolo sarà concluso con l'analisi eseguita per l'individuazione dei ruoli/privilegi e la costruzione della relativa matrice seguendo i principi del *Role-Based Access Control* o RBAC.

Il quinto capitolo insieme al sesto costituiscono la parte *core* dell'elaborato, nel quarto si affronta il processo di digitalizzazione della *Collins Aerospace*, qui si descrivono lo scopo dell'implementazione, i nuovi flussi operativi, l'approccio e la gestione del cambiamento, il capitolo si conclude con l'analisi dei risultati attesi. Nel sesto invece, si applicano i

principi del *project management* ad un caso aziendale reale, essendo vasto il progetto di trasformazione, è stata gestita la parte relativa all'importazione dei cicli e all'esecuzione dei test. Si parte dalla descrizione dell'approccio utilizzato e si applicano gli strumenti del *project management*, sia quelli forniti dalla metodologia *Waterfall* che dell'*Agile*. Nel capitolo sono stati anche analizzati e valutati quelli che sono i rischi, i costi e i tempi del progetto Pilota nel complesso.

Nel settimo e ultimo capitolo si valutano i benefici apportati, le limitazioni del lavoro di tesi e i passi futuri che l'azienda potrà compiere.

# Capitolo 1

## Il Project Management nell'*aerospace industry*

Ogni organizzazione ha la necessità di rispondere a nuove opportunità e sfide in modo più veloce ed efficace possibile, così avvia all'interno di essa dei progetti che riguardano diversi ambiti.

Tutti i progetti hanno in comune una caratteristica, il tentativo di introdurre nuove idee o nuove attività, portandosi dietro però spesso rischi e incertezze, vi sono una miriade di esempi in cui progetti hanno sfornato di enormi quantità i costi, sono finiti in ritardo o addirittura sono stati abbandonati prima del completamento, l'industria aerospaziale, come le altre, non è affatto esclusa, anzi, a differenza delle altre applica i principi del *project management* basandosi però su sistemi più rigidi che seguono requisiti e specifiche date dagli enti preposti.

Lo scopo del project management dunque, anche nel settore *aerospace*, è quello di prevedere, pianificare, organizzare e controllare attività e risorse in modo che i progetti vengano completati con successo, nonostante i limiti, le difficoltà e i rischi che si possano presentare.

Nel presente capitolo, dopo aver fatto un'introduzione sul settore aerospaziale, si descrivono i principi del *project management* dal punto di vista teorico e gli strumenti che lo costituiscono: individuazione delle attività tramite *Work Breakdown Structure*, organizzazione delle risorse, tecniche di schedulazione, analisi dei rischi e analisi dei costi. Per concludere, saranno descritti inoltre due approcci del *project management*, il *Waterfall* o tradizionale e l'*Agile*.

## 1.1 L'*Aerospace Industry*

Il settore aerospaziale comprende due distinti settori, il settore dell'aeronautica, cioè tutto ciò che riguarda il volo e il trasporto, sia umano che di materiali, entro l'atmosfera terrestre e il settore dello spazio, con scopi di ricerca e osservazione, cioè quello che riguarda le attività che si sviluppano al di fuori dell'atmosfera terrestre.

Le aziende che operano nel settore possono svilupparsi in entrambi i segmenti anche se totalmente diversi perchè, il primo è di tipo commerciale e si lega alle esportazioni, mentre il settore spazio è di tipo *captive market*, quindi sensibile ai differenti contesti.

Il settore si divide a sua volta in civile e della difesa o militare. Sul secondo si effettua ricerca per sviluppare nuove tecnologie avanzate (Aerospace & Defence, 2008).

Il settore aerospaziale è strategico perchè caratterizzato da un tasso di progresso tecnologico più elevato, di conseguenza comporta un notevole impatto economico, il settore infatti, costituisce un importante contributo alla crescita economica in tutto il mondo. L'Europa nel suddetto settore, rappresenta dal punto di vista economico un importante vantaggio, poichè riesce a investire molto in Ricerca e Sviluppo rispetto agli altri settori industriali ottenendo ottimi risultati.

Le caratteristiche fondamentali dell'industria aerospaziale sono (Soler, 2009):

- progetti altamente dinamici nella ricerca, nella progettazione, nella produzione e nella commercializzazione dati da tecnologie caratterizzate da un alto tasso tecnologico;
- volumi di produzione variabili, la quantità di unità prodotte nel settore aerospaziale in un anno è piuttosto piccola se confrontata con altri settori manifatturieri, ad esempio la produzione automobilistica. Una fabbrica di dirigibili produce solo decine di unità all'anno, una di veicoli spaziali riesce a produrre un'unità all'anno, esempi per fornire una misura qualitativa delle difficoltà nell'automazione dei processi produttivi;
- sviluppo continuo di nuovi progetti e continuo bisogno di finanziamenti per investire in Ricerca e Sviluppo, il collegamento tra ricerca e produzione di progetti infatti, nel settore aerospaziale, è essenziale perché il mercato è molto competitivo e il prodotto deve soddisfare severi requisiti di sicurezza e affidabilità per poter essere certificato;

- intervento governativo e cooperazione internazionale, nel settore aerospaziale per migliorare la sicurezza, tutto è regolato da normative, l'idea di fondo è che più si standardizza più si generano processi sicuri che non portano ad errori o incidenti.

L'industria aerospaziale si focalizza principalmente su tre aree di produzione: l'aeronautica, integrata da dirigibili, sistemi di propulsione, infrastrutture e attrezzature, lo spazio e i missili. Grosso modo, l'industria aeronautica costituisce circa l'80-90% dell'attività totale.

I principali segmenti del settore aerospaziale sono, distinguendo nel settore aeronautico velivoli ad ala fissa e ad ala rotante (Franchini *et al.*, 2011):

- **Velivoli ad ala fissa** o *Fixed wing aircraft*, un velivolo che utilizza la velocità e la superficie alare per generare portanza, questi a loro volta vengono suddivisi in velivoli ad ala fissa senza motore (alianti) e con motore (aerei);



Figura 1.1: Velivoli ad ala fissa [30]

- **Velivoli ad ala rotante** o *Rotorcraft*, cioè un aeromobile più pesante dell'aria che utilizza le pale del rotore che ruotano attorno a un albero per muoversi;



Figura 1.2: Velivoli ad ala rotante [30]

- **Missili**, dispositivo dotato di propulsione a razzo e munito di un sistema di guida che percorre un determinato spazio seguendo una traiettoria; sono strumenti utilizzati principalmente nel settore militare;



Figura 1.3: Missili [30]

- **Veicoli spaziali**, progettati per il volo spaziale, sono utilizzati per le comunicazioni, l'osservazione della terra, la meteorologia, la navigazione, l'esplorazione planetaria e il trasporto di esseri umani e merci. La particolarità principale è che i veicoli spaziali funzionano senza atmosfera, o comunque in regioni con densità molto bassa. Tra i veicoli spaziali vi sono i satelliti artificiali, sonde spaziali, navicelle e lanciatori.



Figura 1.4: Lanciatore *Ariane 5* [38]

Nel settore aerospaziale spesso si parla di missione, questa ha dunque l'obiettivo di sviluppare un componente, un sistema o un viaggio, con o senza equipaggio, dentro o

al di fuori dell'atmosfera terrestre, solitamente allo scopo di soddisfare specifici bisogni e requisiti. I requisiti di prestazione della *mission* possono essere considerati come un insieme di parametri di prestazione operativa, affidabilità, manutenibilità, disponibilità e sicurezza da raggiungere nel ciclo di vita del progetto, in questo il *project management* e i suoi strumenti vengono in aiuto nella gestione delle varie *mission*.

## 1.2 Che cos'è il *project management*?

Il *project management*, noto anche come **gestione di progetto**, è l'attività di pianificazione, organizzazione, motivazione e controllo di risorse, procedure e protocolli al fine di raggiungere determinati obiettivi.

In parole povere, si può definire il project management come l'insieme delle azioni che si intraprendono e delle scelte che si effettuano nel tentativo di raggiungere un determinato scopo (The PMBOK, 2017).

Per progetto invece, si intende un insieme di attività coordinate per la realizzazione di specifici obiettivi entro tempi e costi definiti. Un progetto dunque, ha sia un inizio che una fine e nel periodo che intercorre tra queste si svolgono le attività necessarie per il raggiungimento dell'obiettivo del progetto.

La caratteristica principale di un progetto è la sua novità, due progetti non sono mai esattamente uguali, anche un progetto ripetuto sarà diverso dal precedente in uno o più aspetti (The PMBOK, 2017).

La gestione dei progetti inoltre, comprende tre discipline complementari fra loro *Project Management*, *Program Management* e *Project Portfolio Management* (Morris e Pinto, 2007).

- Il **Project Management** è solamente tattico, questo riguarda le tecniche e gli strumenti utilizzati nei progetti per il raggiungimento degli obiettivi seguendo i vincoli di tempi e costi e per raggiungere il livello di qualità concordato,
- Il **Program Management** è tattico e strategico, coinvolge più progetti e più programmi cercando di soddisfare obiettivi più ampi rispetto a quelli del singolo progetto,

- Il **Project Portfolio Management** è di tipo strategico, si occupa di raggiungere più obiettivi di business, qui si dà per scontato la capacità di gestire i vincoli di progetto.

Nella Figura 1.5 vediamo le caratteristiche tipiche di un Project Portfolio Management o Portfolio Management.

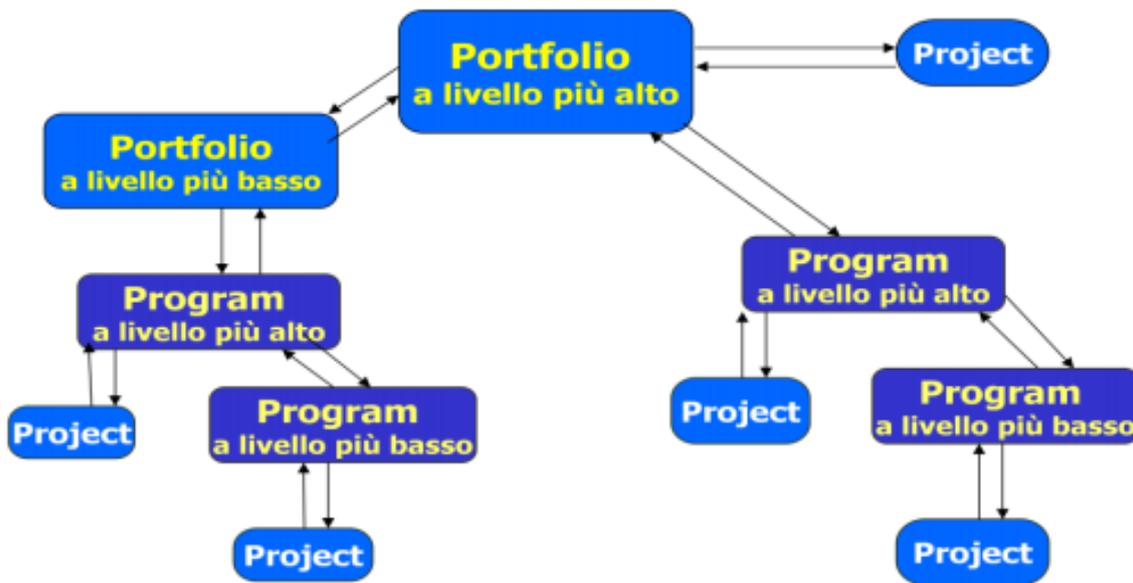


Figura 1.5: Relazione tra Progetti, Programmi e Portfolio [21]

Il portfolio è l'insieme di progetti, programmi ed altro lavoro che concorrono per raggiungere l'obiettivo strategico. I componenti, oltre alla gestione operativa, possono essere progetti in esecuzione, in produzione, pianificati o solo proposti in attesa di approvazione.

Il Portfolio può essere a livello azienda, il quale a sua volta può comprendere i Portfolio a livello di Direzioni o funzioni aziendali più basse. Ecco le relazioni che si possono creare secondo il PMI.

Il *project management* individua quattro diversi tipi di progetto (Flouris e Lock, 2008):

1. **progetti di ingegneria civile e costruzione**, richiedono ingenti investimenti di capitale e meritano una gestione rigorosa dei progressi, della gestione economica e della qualità. Sono progetti in cui le operazioni sono spesso pericolose, per cui gli aspetti relativi alla salute e alla sicurezza richiedono un'attenzione particolare;
2. **progetti di produzione**, hanno come output un *equipment*, cioè un dispositivo, sono solitamente gestiti in aziende che producono in loco anche se, a volte, alcune operazioni vengono esternalizzate.

Quando i progetti di questo tipo sono internazionali, sono soggetti a maggiori rischi dovuti alla difficoltà di controllo e coordinamento derivanti dalla complessità organizzativa, dalle rivalità nazionali, dalle tipologie di contratti, dalle comunicazioni a lunga distanza, dalle lingue differenti e dagli standard tecnici. Esempio tipico è la produzione di un aeromobile, un prodotto complesso, sviluppato e prodotto da numerose aziende, spesso di Paesi differenti, che collaborano tra loro.

Il progetto di gestione dell'Airbus A380 ne è un esempio calzante, 2 anni di ritardo e un budget superato. Una causa contributiva per i problemi dell'A380 era l'incompatibilità software tra diverse società, in modo che quando diverse sezioni dell'aereo venivano riunite per l'assemblaggio finale, il cablaggio non corrispondeva e doveva essere rielaborato a un costo elevato.

3. **progetti IT e progetti legati al *change management***, sono i progetti in cui le aziende sviluppano o implementano un nuovo software, riassettano l'organizzazione, introducono trasformazioni di business o comunque, in generale, sono progetti costituiti da attività che producono un risultato finale che non è identificabile con un oggetto tangibile. Spesso tale tipologia di progetto richiede enormi investimenti. Nel settore aerospaziale implementare un sistema informatico efficiente è fondamentale per evitare rischi di errore nella comunicazione aerea o nei sistemi di controllo del traffico.
4. **progetti per la ricerca scientifica pura**, da non confondere con i progetti di ricerca e sviluppo, poichè occasionalmente portano a scoperte proficue, al contrario possono essere costosi senza produrre risultati. Gli obiettivi del progetto sono solitamente difficili o impossibili da definire.

All'interno del settore *aerospace* possono essere trovate le tipologie di progetti sopra citate, uno, più di uno o anche un mix delle quattro, ad esempio, nel progetto per la costruzione di una nuova pista, di un terminal o anche di un intero aeroporto si parla di progetto di ingegneria civile e costruzione, ma a quel progetto sarà senza dubbio associato

un cambio di gestione, quindi un progetto legato al *change management* (Flouris e Lock, 2008).

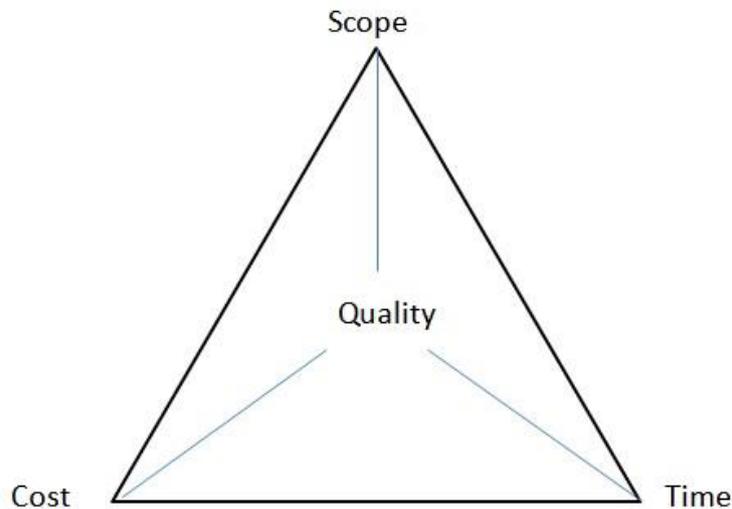


Figura 1.6: *The Ferrous Triangle* [21]

Il successo di un progetto sarà in generale valutato in base al grado di raggiungimento di tre obiettivi:

1. completamento del progetto entro il budget di costo;
2. consegna al cliente in tempo;
3. progetto in accordo alle specifiche richieste.

Solitamente si pone l'enfasi su uno o due di questi obiettivi a spese di quello o quelli rimanenti. Nell'industria aeronautica le prestazioni alle specifiche dovrebbero essere l'obiettivo primario e si dovrebbe attribuire più importanza alla sicurezza e all'affidabilità (Sheng, 2019).

Il *Ferrous Triangle* (Figura 1.6) evidenzia come l'ambito e la qualità del progetto vadano determinati e gestiti nei limiti di tempo entro il quale il progetto va completato, del budget disponibile per completare il progetto e delle risorse disponibili. Pianificare un progetto allora implica la determinazione di tempi, costi e risorse necessarie per raggiungere l'obiettivo realizzato con la qualità attesa/specificata. Gestire un progetto

significa quindi ri-equilibrare costantemente il sistema per far fronte ai cambiamenti che intervengo, perché lo faranno, durante la gestione del progetto (Wysocki, 2014).

### 1.3 Ciclo di vita di un progetto

La gestione moderna dei progetti implica una divisione del lavoro in più parti in modo da poterle eseguire autonomamente per facilitarne la gestione, per cui si ritiene fondamentale scegliere un metodo in modo da avere una guida e capire come raccogliere la documentazione necessaria. Ovviamente, in base alla complessità di un progetto si definisce un metodo consono per eseguirlo, si ritiene comunque più corretto avere un'idea chiara del ciclo di vita del progetto, affinché per questo possa essere scelta la metodologia più adatta (The PMBOK, 2017).

Il ciclo di Vita del progetto prescrive la sequenza standard di fasi attraverso cui passa il progetto, dal suo concepimento al suo completamento, al fine di raggiungere gli obiettivi intermedi e finale fissati (Dell'Anna e Dell'Anna, 2014).

Per il PMBOK, il ciclo di vita del progetto o Project Life Cycle è *una raccolta di fasi di progetto, generalmente in sequenza, il cui nome e numero sono determinati dalle esigenze di controllo dell'organizzazione o delle organizzazioni coinvolte nel progetto.*



Figura 1.7: Ciclo di vita del progetto [30]

Vi è inoltre la tendenza a considerare progetto un'attività che darà come *output* un prodotto fisico sottovalutando la complessità gestionale caratterizzata da una serie di attività considerate preliminari, infatti ogni progetto, indipendentemente dal *output*, ha un doppio ciclo di vita (Figura 1.7):

- Un aspetto tecnico, il più conosciuto e seguito nella prassi delle aziende, che prescrive l'insieme delle attività che derivano dal *Know-how* specialistico dell'azienda ed è retto da procedure precise ed è finalizzato a raggiungere gli obiettivi tecnici del progetto;
- Un aspetto organizzativo e manageriale che stabilisce le linee guida e le regole secondo le quali il progetto deve essere impostato, condotto e controllato.

Esiste una struttura di base per la scomposizione di un progetto in parti, applicabile alla maggior parte dei progetti, indipendentemente dal settore di applicazione; tale suddivisione prevede una prima ripartizione di un progetto nelle seguenti fasi principali (Figura 1.8): (The PMBOK, 2017)

- **Avvio**, si parte dal *business plane* o *business case* e si definiscono gli obiettivi, si individuano gli stakeholder e si produce il **project charter**, un documento dove sono contenute informazioni su requisiti e necessità, obiettivi, assunzioni e vincoli, principali rischi, budget e data di completamento. Non realizzare bene questa fase implica il rischio che il progetto non abbia successo nel soddisfare gli obiettivi identificati.
- **Pianificazione**, dopo aver avviato il progetto la pianificazione diventa un aspetto cruciale della gestione. Lo scopo principale è quello di pianificare tempi, costi e risorse in modo consono in modo da stimare il lavoro necessario. Costituisce un *benchmark* che misura l'avanzamento del lavoro, senza pianificazione non si può misurare lo stato di salute del progetto attraverso vari *tool* (WBS, OBS, Gantt, reticolo) che approfondiremo nel paragrafo 1.3 relativo agli strumenti del project management.  
Come nella fase di avvio del progetto, un fallimento nella pianificazione riduce le possibilità di successo del progetto.
- **Esecuzione** di quanto pianificato, consiste nella realizzazione del lavoro definito nel piano di gestione del progetto, si tratta dunque della messa in opera degli obiettivi del progetto. Il processo di esecuzione prevede il coordinamento delle persone e delle risorse, nonché l'integrazione e l'esecuzione delle attività del progetto.



Figura 1.8: Fasi del *project management* [37]

- **Monitoraggio e controllo** dello stato di avanzamento, dei costi, della qualità, dei rischi ed con eventuale introduzione di azioni correttive. Durante lo stato di avanzamento del progetto possono essere identificati alcuni problemi per cui è bene:
  - misurare le attività del progetto in corso
  - monitorare le variabili del progetto (costo, sforzo, portata) rispetto al piano di gestione del progetto e alla linea di base del progetto
  - individuare azioni correttive per affrontare i rischi e le problematiche
  - gestire le modifiche utilizzando un processo di controllo di queste

Il processo di monitoraggio e controllo termina quando il progetto ha raggiunto i propri obiettivi.

- **Chiusura**, è lo step in cui i *deliverables*, ormai completati, vengono esaminati per verificare se rispondono ai requisiti stabiliti. È importante sapere quanto bene il progetto sia stato eseguito. Questo compito viene eseguito utilizzando il rapporto di chiusura del progetto che indicherà l'efficacia del progetto rispetto al piano originale, alle misure di qualità, al costo e alla durata.

Oltre ai Gruppi di Processo (Avvio, Pianificazione, Esecuzione, Monitoraggio e Controllo, Chiusura), sono state individuate delle cosiddette *Knowledge area* o Aree di Conoscenza del Project Management che, per specifici argomenti, ad esempio integrazione, scopo, tempo, costo, qualità, risorse umane, rischi, acquisti, comunicazione, descrivono metodi e tecniche della gestione dei progetti in base ai processi stessi che la compongono (The PMBOK, 2017).

## 1.4 Gli strumenti del *project management*

Il successo del progetto si misura principalmente grazie alle abilità del *project manager*, del proprio team e alle capacità che questi hanno nell'utilizzare gli strumenti offerti dalle teorie del *project management*.

Tra i *tool* principali per il raggiungimento degli obiettivi di progetto vi sono:

### 1.4.1 Work Breakdown Structure

La *Work Breakdown Structure* (WBS) consiste in un albero logico e gerarchico dove si collocano tutte le attività necessarie per completare un progetto. In cima alla struttura vi è il progetto stesso, seguono al livello successivo i principali *work packages*. Mano a mano che ci si dirama nella WBS si giunge al livello inferiore che mostra tutte le attività.

Le attività a livello più basso sono quindi necessarie e sufficienti per completare l'elemento padre (di livello superiore). La WBS definisce in sostanza il prodotto/opera finale da sviluppare o da produrre e mette in relazione con il prodotto finale e fra di loro gli elementi di lavoro che sono necessari alla sua realizzazione (Cantamessa *et al.*, 2007).

Ogni elemento è perfettamente pianificabile, definito da un suo budget ed assegnabile ad un'unità operativa.

La WBS è fondamentale in quanto:

- fornisce una descrizione del progetto come somma di elementi;
- consente la stima dei costi e del budget;
- consente il controllo di tempi, costi e prestazioni;
- gli obiettivi sono collegati alle risorse aziendali;

- semplifica le operazioni di pianificazione, programmazione, reporting, controllo di gestione;
- consente l'assegnazione di responsabilità per ogni elemento.

Il work package è quindi l'unità elementare della WBS al suo massimo livello di disaggregazione. Vale la regola del 100%, cioè la WBS debba includere il 100% del lavoro definito dal progetto e includere tutto il necessario - interno, esterno e appaltato - alla realizzazione del progetto, inclusa la gestione del progetto stesso.

Se si volesse fare un esempio di una WBS, nella Figura 1.9 se ne riassume una relativa ad un progetto per lo sviluppo un piccolo prototipo di velivolo, anche se potrebbe continuare per più livelli se necessario (The PMBOK, 2017).

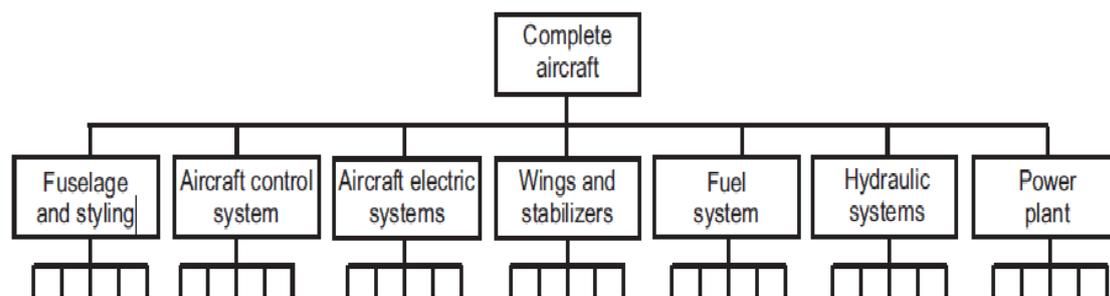


Figura 1.9: WBS generale del *project* di un velivolo (Flouris e Lock, 2008)

Ogni progetto, per essere gestito con successo, dovrebbe essere scomposto nel dettaglio in modo da chiarire quali siano le attività che lo costituiscono.

Scomporre allora il progetto in pacchetti di lavoro o attività comporta:

- l'inclusione di tutte le attività del progetto, questo obiettivo è talvolta difficile da raggiungere, ma i rischi di omissione possono essere ridotti mediante l'uso di liste di controllo adatte;
- l'individuazione di un metodo che identifichi ogni attività e denoti la sua posizione in relazione a tutte le altre; questo obiettivo può essere raggiunto assegnando a

ciascuna attività un numero di identificazione attraverso l'uso di un sistema di codifica logica, attentamente elaborata.

## 1.4.2 Organization Breakdown Structure

In un progetto l'*Organization Breakdown Structure* (OBS) è la rappresentazione dell'organizzazione per indicare le relazioni all'interno del contesto del progetto, l'OBS riflette il modo in cui il progetto è organizzato funzionalmente, descrive la gerarchia dell'organizzazione che fornirà le risorse per pianificare e svolgere il lavoro identificato dalle attività presenti nella struttura delle WBS.

L'OBS aiuta dunque nella gestione a stabilire quale possa essere l'organizzazione più efficiente, prendendo in considerazione la disponibilità e le capacità del personale presente, per raggiungere gli obiettivi del progetto (The PMBOK, 2017).

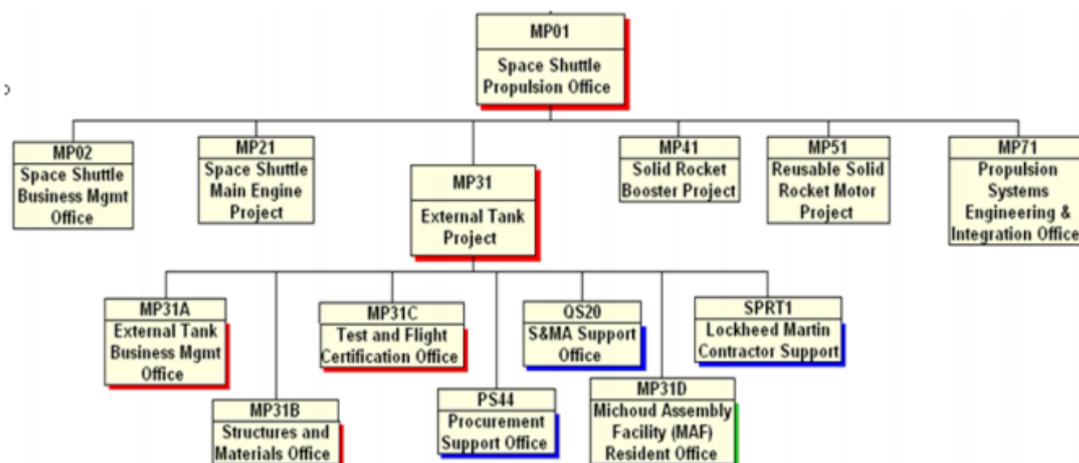


Figura 1.10: OBS della gestione di uno *space shuttle* [39]

Gli obiettivi principali dell'OBS sono allora:

- l'individuazione dei membri del team di progetto;
- la definizione del quadro organizzativo per un rendiconto finanziario e di pianificazione delle risorse.

## 1.4.3 Responsibility Assignment Matrix

La matrice di assegnazione della responsabilità, chiamata anche matrice RACI (*Responsible, Accountable, Consulted, Informed*), risponde alla domanda *Chi è il responsabile per*

ciascuna attività del progetto?.

Nasce dalla combinazione dell'OBS e la WBS, ogni attività della WBS ha un responsabile presente nella OBS, da questa combinazione *cross-funzionale* si identifica nell'organizzazione il responsabile di ogni attività individuata nella WBS (The PMBOK, 2017).

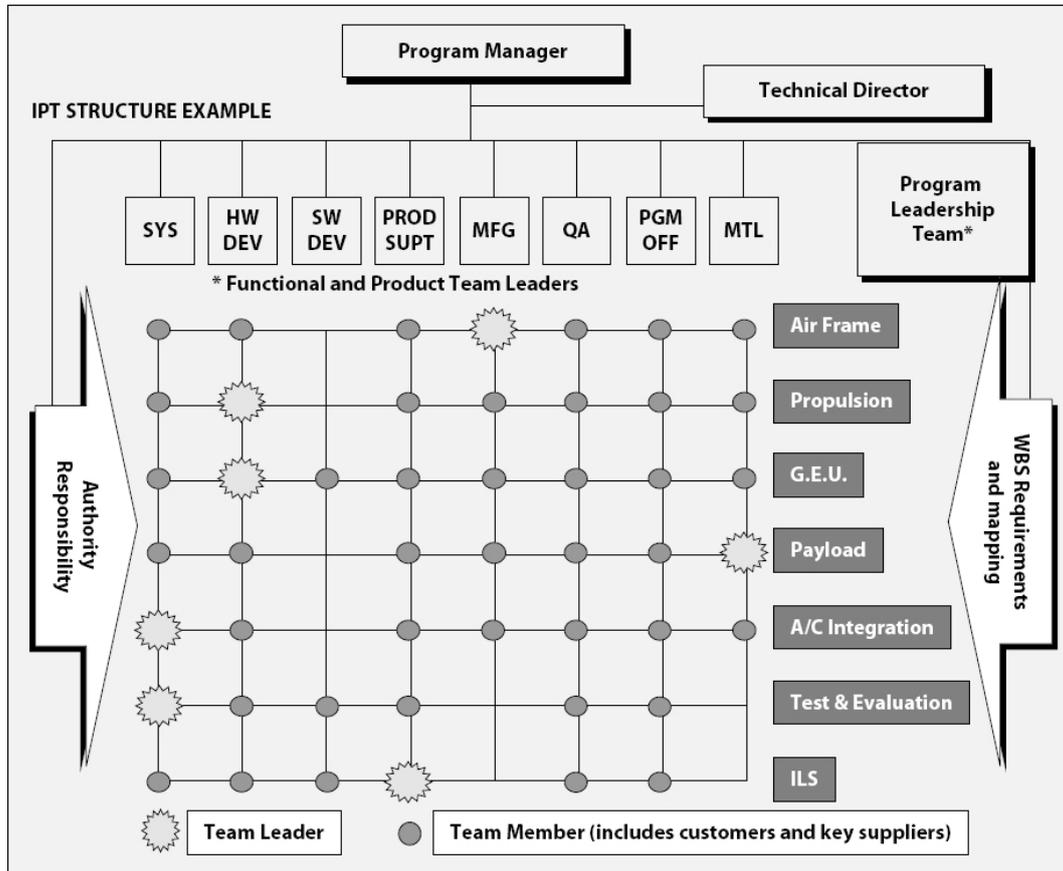


Figura 1.11: Esempio di RAM nella costruzione di un dispositivo aerospaziale [40]

La matrice di assegnazione della responsabilità si occupa di:

- in modo rapido ed efficace individua chi svolgerà l'attività e con quale ruolo organizzativo;
- individuare e formalizzare i ruoli di chi sarà responsabile ma anche chi supporterà quest'ultimo;
- definendo nel dettaglio attività correlate al responsabile permetterà una corretta valutazione dei costi;

- responsabilizzare e rendere consapevoli all'interno dell'organizzazione circa il proprio lavoro ma anche quello degli altri;
- favorire l'impegno tutti, a prescindere dal livello di responsabilità.

#### 1.4.4 Tecniche di *scheduling*

Ogni volta che qualsiasi lavoro deve essere svolto in base a una scadenza di tempo o data, è consigliabile avere un'idea del rapporto tra il tempo concesso e il tempo necessario, a prescindere dal fatto che si stia preparando una cena o costruendo un aereo.

Un piano è fondamentale se un progetto deve essere completato in tempo, nella preparazione di una cena la pianificazione è semplice e informale, condotta esclusivamente all'interno del cervello, in un progetto invece in cui verrà sviluppato, implementato o assemblato qualcosa nel settore aerospaziale è molto più complesso e vengono richieste procedure particolari (Sheng, 2019).

Si ricorre così a tecniche di schedulazione, attraverso semplici grafici a barre, che possono essere adeguati per pianificare e far progredire piccoli progetti o nelle fasi iniziali di grandi progetti e tecniche reticolari, che individuano i percorsi critici che possono rallentare il processo.

Le tecniche di schedulazione sono alla base del processo di pianificazione poiché forniscono elementi per decidere come utilizzare le risorse per il raggiungimento degli obiettivi del progetto e forniscono anche elementi per verificare potenziali ritardi sul completamento.

Le tecniche più comuni possono essere così classificate:

- Diagrammi a barre o di Gantt, rappresentano graficamente il progetto, posizionando sugli assi cartesiani tutte le attività che lo compongono;
- Reticolari (*Pert*, *Cpm*, *Pdm*, *Gert*), rappresentano graficamente il progetto, evidenziando tutte le attività previste per il suo completamento e i legami logici che le connettono.

#### Diagramma di Gantt

I grafici a barre sono anche conosciuti come diagrammi di Gantt, dal loro creatore, l'ingegnere Henry Gantt (1861-1919), sono degli strumenti molto diffusi e sono di aiuto nei processi di pianificazione.

L'impatto visivo di un grafico a barre può essere un valido aiuto per il controllo di un progetto, i grafici a barre sono preferiti ad altri metodi dalla maggior parte dei *senior*

manager, perchè sono immediati e facili da comprendere visivamente (The PMBOK, 2017).

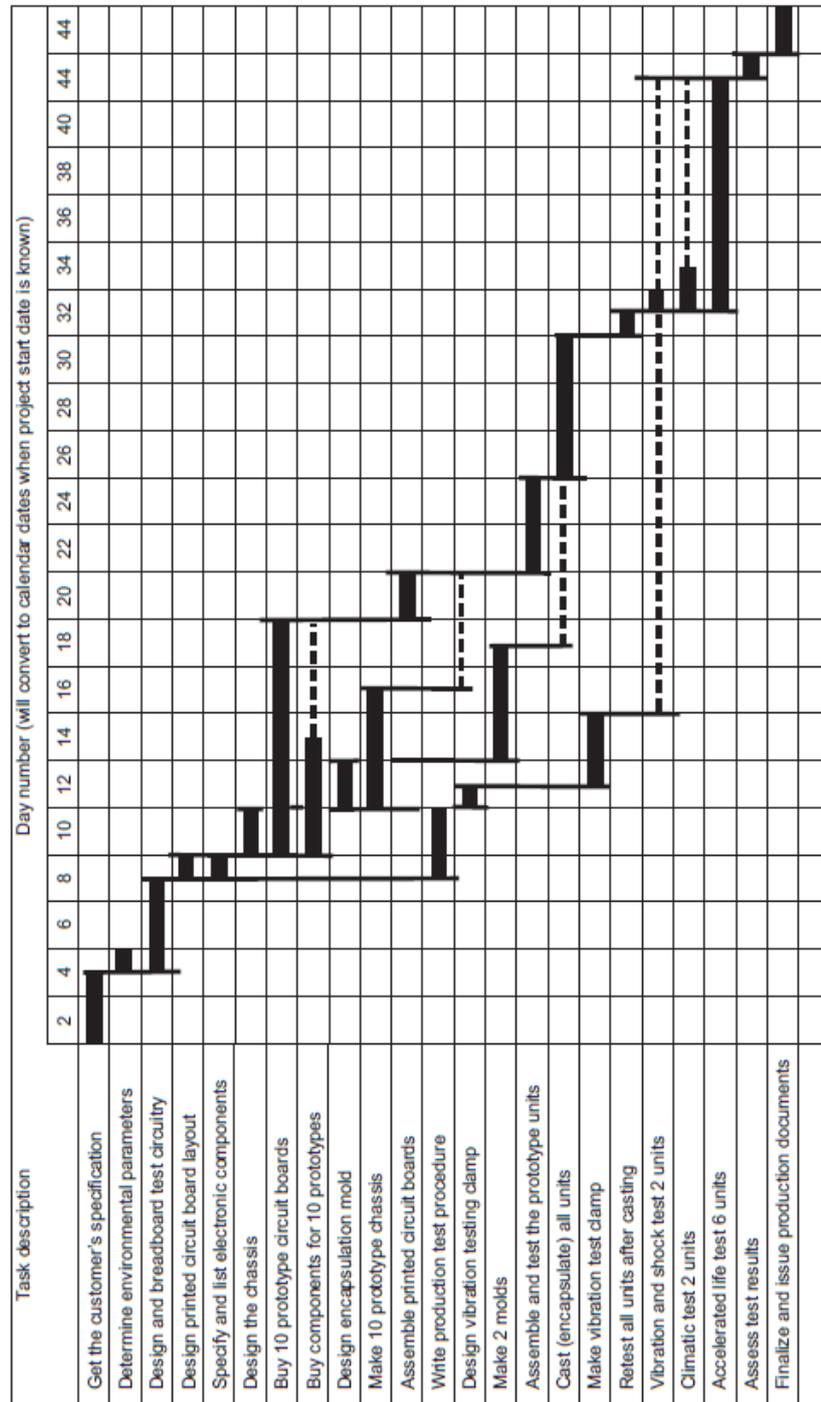


Figura 1.12: *Gantt Chart* per la progettazione di un componente aereo (Flouris e Lock, 2008)

I grafici a barre sono disegnati in scala, con l'asse orizzontale direttamente proporzio-

nale al tempo, vengono utilizzati giorni, mesi, anni o altre unità, scelti in base alla durata complessiva del progetto. Ogni barra orizzontale rappresenta un'attività di progetto, con la lunghezza ridimensionata in base alla durata prevista. Il nome o la descrizione di ogni lavoro sono scritti sulla stessa riga della sua barra, solitamente sul lato sinistro.

## Tecniche Reticolari

I diagrammi reticolari mostrano tutte le interdipendenze logiche tra le diverse attività, i reticoli consentono di quantificare le priorità, sulla base di un'analisi di tutte le stime della durata delle attività.

I reticoli assegnano la priorità basandosi sul tempo alle attività mettendo così in evidenza quelle critiche, questo è un contributo fondamentale al processo di pianificazione delle risorse e l'analisi dei percorsi critici. Le attività critiche sono quelle attività che possono mettere in pericolo il completamento del progetto in tempo.

Anche se non vengono effettuate stime di durata e non vi sono analisi di tempo, i benefici derivanti dalla schematizzazione di un reticolo possono essere utili perchè questo incoraggia il pensiero logico.

Durante la seconda metà del ventesimo secolo, per tracciare un reticolo sono state individuate diverse tecniche, raggruppate in due gruppi principali:

1. *Activity on arrow* (AOA), reti di attività sugli archi
2. *Activity on node* (AON), reti di attività sui nodi

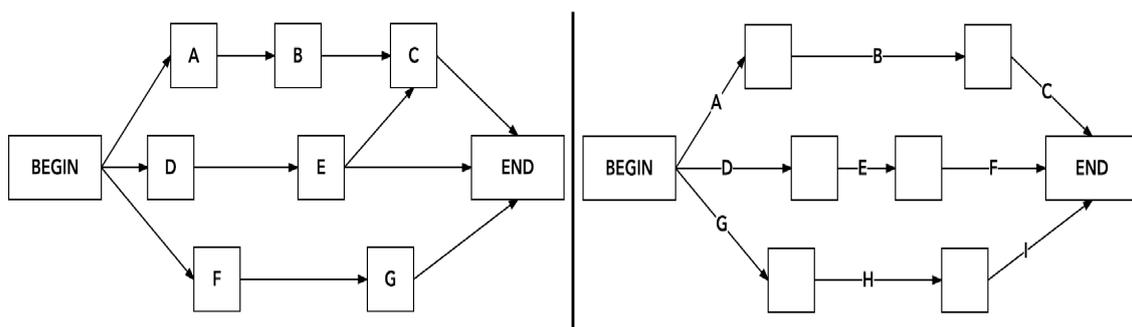


Figura 1.13: *Activity on node VS Activity on arc*

La Figura 1.13 mostra graficamente le due tipologie di tecniche reticolari.

### 1.4.5 Analisi dei costi

In ogni progetto vengono individuati due tipologie di costi, i diretti e gli indiretti:

- I **costi diretti**, possono essere direttamente e interamente attribuiti al progetto e sono i costi di manodopera e materiali necessari per eseguire le attività del progetto, i costi diretti sono anche chiamati costi variabili, perché variano con la velocità con cui viene eseguito il lavoro del progetto. I costi diretti di solito aggiungono valore al progetto;
- I **costi indiretti** sono i costi generali di gestione dell'azienda, includono il riscaldamento, l'illuminazione, l'affitto, le tariffe comunali e la manutenzione della proprietà, gli stipendi. La maggior parte dei costi indiretti continua a prescindere dal fatto che un progetto sia stato svolto o meno, e tende a non variare da un giorno all'altro.

Il *project management* utilizza una struttura gerarchica, la *Cost Breakdown Structure* (CBS) per allocare i costi alle attività della WBS 1.14.

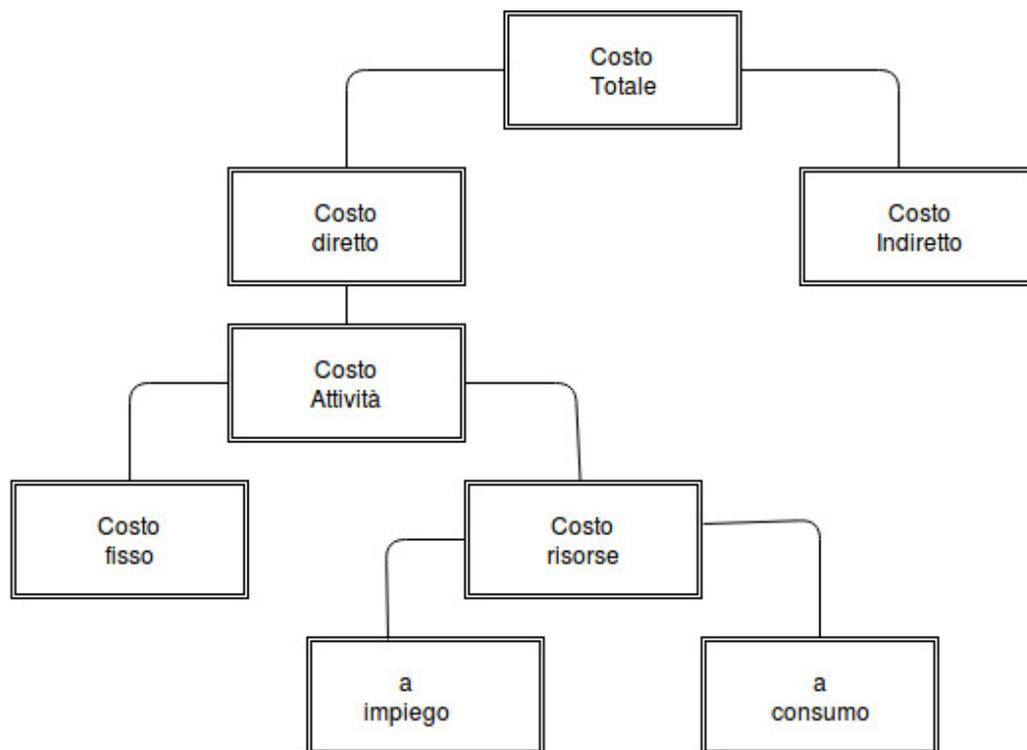


Figura 1.14: Esempio di CBS [47]

Idealmente, la CBS si riduce a costi di diversi tipi come materiali, manodopera, tariffe giornaliere, spese di registrazione, questo aiuta nella comprensione del progetto, nella sua pianificazione e nel suo controllo.

La CBS inoltre viene utilizzata per confrontare continuamente i costi effettivi con il budget e integrarsi al sistema di controllo dei costi (The PMBOK, 2017).

### 1.4.6 *Risk Management*

I rischi possono verificarsi in qualsiasi fase di un progetto, alcuni sono associati ad attività particolari, altri possono essere determinati da fattori esterni al progetto e possono manifestarsi senza preavviso. In generale, un rischio che si verifica nelle fasi più avanzate di un progetto, può essere più costoso in termini di tempo e denaro rispetto a un evento simile che si verifica all'inizio.

Nel Project Management Body of Knowledge, il Risk Management è definito come il *processo sistematico di identificazione, analisi e reazione ai rischi di progetto. In pratica, significa massimizzare le probabilità e le conseguenze di eventi positivi e il minimizzare le probabilità e le conseguenze di eventi avversi agli obiettivi progettuali.*

Tuttavia, per qualsiasi tipologia di progetto, è necessario sviluppare una strategia di gestione del rischio, in primo luogo per identificare quali possano essere i potenziali rischi possibili e poi decidere come affrontarli. La gestione e la classificazione del rischio in un progetto è un argomento complesso, esistono diverse tecniche per valutare e affrontare i rischi del progetto.

Il rischio è sempre correlato a ciò che può accadere in futuro, l'analisi di questo rischio può prevenire eventuali incidenti (Rausand, 2013).

Per *Risk Analysis* si intende allora il processo sistematico di identificazione, analisi e risposta ai rischi del progetto, questa permette la massimizzazione della probabilità di eventi positivi e riduce al minimo la probabilità di eventi avversi rispetto all'obiettivo del progetto. La *Risk Analysis* può essere estesa a tutti i progetti perchè tutti soggetti a limiti più severi in termini di budget e costi e per i cambiamenti improvvisi nella tecnologia.

Con *risk management* invece si intende il processo di gestione secondo cui si individuano, si analizzano e si valutano i potenziali rischi, per poi identificare e introdurre misure di controllo efficaci per eliminare o ridurre il rischio. Il *risk management* è parte integrante di una buona gestione e contiene tre elementi principali: analisi dei rischi, valutazione dei rischi, controllo e riduzione dei rischi (Massingham 2010)

Le fasi del rischio allora sono:

- **Analisi del rischio**, l'identificazione delle minacce potenziali e delle cause che potrebbero scatenare eventi negativi,
- **Valutazione del rischio**, determinare quale dei metodi di valutazione utilizzare e confrontare i risultati ottenuti con i criteri di accettazione identificati,
- **Controllo e riduzione del rischio**, decidere quali misure prendere nel caso in cui il rischio si verifichi o implementare le misure in corso se non valide (Rausand, 2013).

Le tecniche di analisi del rischio si dividono in qualitative, quantitative e semi-quantitative:

1. L'approccio qualitativo prevede una valutazione del rischio su una scala qualitativa (ad esempio alto, medio, basso),
2. L'approccio quantitativo, invece, riconduce le valutazioni ad un valore numerico puntuale, spesso inteso come la perdita economica derivante dal verificarsi del rischio. Si tratta di un approccio più difficile ed oneroso del primo perché costringe ad un censimento ed una valorizzazione degli asset e ad una valorizzazione delle perdite che si avrebbero in caso di incidente,
3. L'approccio semi-quantitative è un compromesso fra i primi due, nel quale le valutazioni sono effettuate in termini qualitativi e, successivamente, trasformate in numeri per poterle elaborare attraverso algoritmi di calcolo, come se si trattasse di valutazioni quantitative (Butti e Maccaferri, 2012).

### 1.4.7 Monitoraggio e controllo

Il monitoraggio e il controllo del progetto permettono di osservare l'andamento del progetto stesso e di identificare in modo immediato eventuali problemi che si verificano durante l'esecuzione.

I due strumenti danno allora informazioni sulle prestazioni del progetto, identificando le differenze tra quello che era stato pianificato e quello che è nella realtà (The PMBOK, 2017).

Tra le attività presenti nel monitoraggio e controllo vi sono:

- raccogliere e misurare le informazioni sulla performance del progetto di *scope*, tempi, costi e risorse, eventuali anomalie devono essere segnalate in tempo in modo che possano essere intraprese azioni correttive tempestive o rivedere la pianificazione della gestione del progetto,
- il controllo integrato delle modifiche, cioè l'introduzione e la verifica di modifiche che dovrebbero apportare vantaggi e miglioramenti al progetto,
- verifica dell'ambito, cioè la verifica dei risultati finali del progetto
- controllo della pianificazione,
- controllo dei costi,
- controllo della qualità
- controllo delle risorse in termini di quantità e prestazioni,
- gestione degli stakeholders, dei contratti e altro.

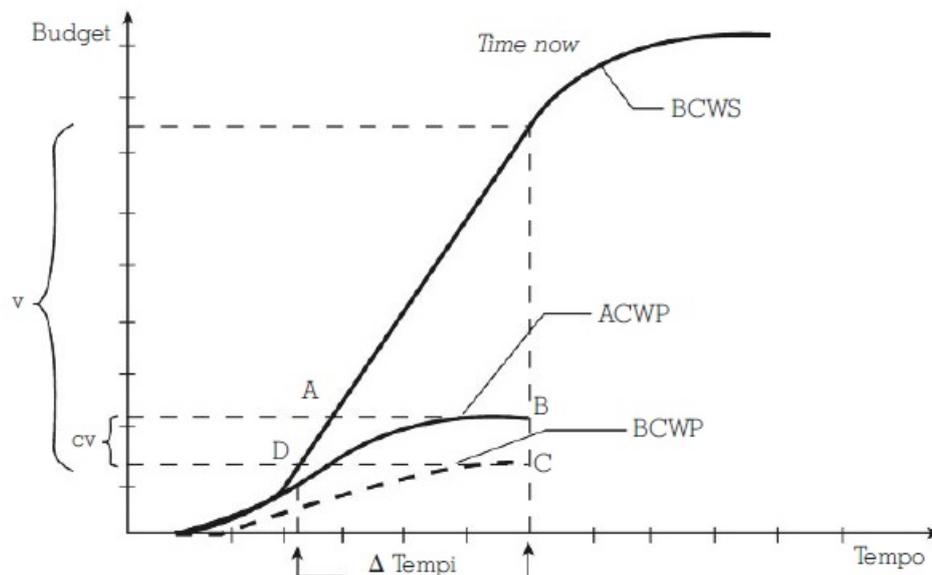


Figura 1.15: Esempio *s-curve* sullo scostamento dei costi [47]

Inoltre, a supporto dei due strumenti vengono utilizzate le *s-curves*, queste vengono utilizzate per verificare eventuali scostamenti di tempi, costi o altre variabili da poter esaminare. Il monitoraggio delle prestazioni del progetto così viene eseguito confrontando i valori pianificati rispetto a quelli effettivi. Utilizzando questo metodo, è possibile sviluppare una valutazione delle prestazioni del progetto (Clayton, 2009).

## 1.5 Approcci del *project management*

L'implementazione di sistemi di tipo software complessi, in termini di *project management*, si trasforma in aumento dei rischi connessi allo sviluppo.

I rischi sono dovuti principalmente a:

- tendenza ad aumentare il numero di requisiti;
- cambiamenti in corso d'opera dei requisiti di progetto;
- cambiamenti nei sistemi esterni con cui il software dovrà interfacciarsi.

Nasce così il bisogno di gestire in modo efficiente un progetto di tipo software, si ricorre allora a delle metodologie che seguono o un approccio più tradizionale (*Waterfall*) o più innovativo/iterativo (*Agile*).

### 1.5.1 Approccio *Waterfall*

La metodologia *Waterfall*, o anche *Classic Lyfe Cycle*, corrisponde ad un tipo di gestione tradizionale, sequenziale e lineare; si basa su un susseguirsi di attività in cascata dove finché non si termina una fase non si può passare alla successiva.

Il modello *Waterfall* infatti è organizzato secondo una sequenza rigida di fasi che si susseguono, in cui ognuna delle quali genera un *output* che costituisce l'*input* della fase successiva. (Royce, 1970)

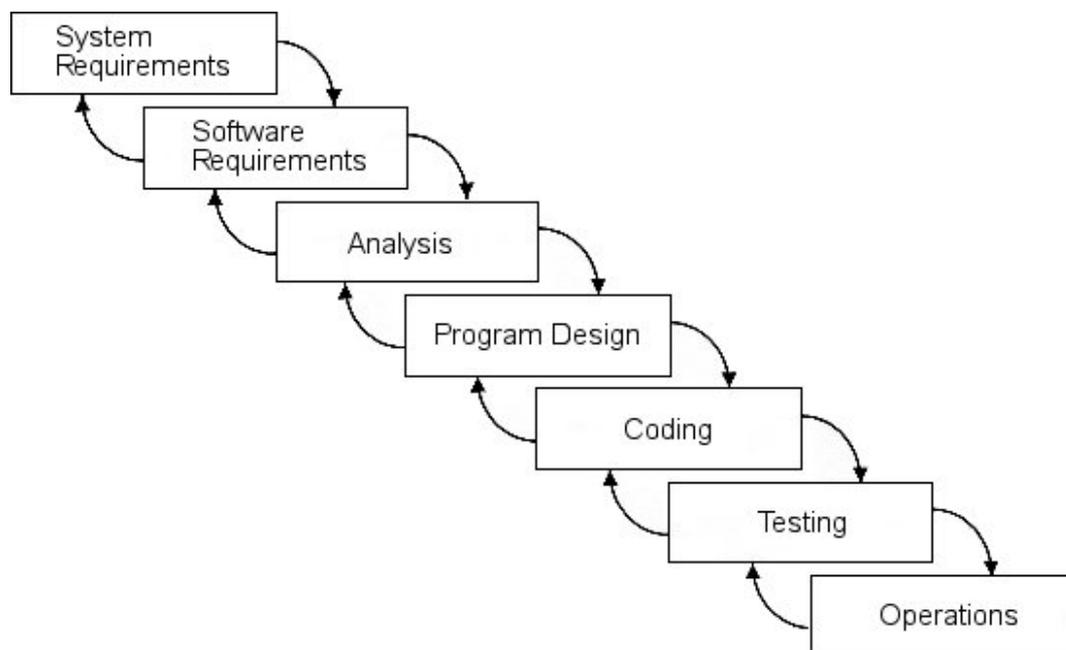


Figura 1.16: *Waterfall project management method* [22]

L'approccio *Waterfall* prevede le seguenti fasi:

- **Analisi di fattibilità**, fase in cui si decide se il progetto è fattibile sia da un punto di vista tecnico che economico, in questa fase il *Management* decide se intraprendere o meno il progetto;
- **Analisi dei requisiti**, fase in cui si ha uno scambio informativo tra le parti relativo al software e al sistema stesso, si ha raccolta dei requisiti su un documento, questo sarà l'*input* per la fase successiva;
- **Design**, si traducono i requisiti in una rappresentazione del software, si definisce così struttura dei dati e architettura del sistema;
- **Codifica**, vengono costruiti i moduli del sistema scrivendo il codice e verificando l'aderenza agli standard;
- **Collaudo**, vengono eseguiti dei test per verificare la corretta installazione dei moduli, la correttezza complessiva del sistema e la rispondenza ai requisiti del sistema;
- **Manutenzione**, dopo l'implementazione verranno svolte nel tempo operazioni di supporto, estensione e miglioramento in base alle condizioni al contorno.

La metodologia a cascata è diventata negli anni un modello nello sviluppo e nell'implementazione dei software.

Punti di forza dell'approccio *Waterfall*:

- Il modello si basa sul concetto di *Big Design Up Front*, cioè una grande progettazione a monte, il che permette una riduzione di costi notevole nel caso in cui già dalle fasi iniziali si riscontrassero dei problemi che potrebbero comparire nelle fasi successive;
- L'implementazione deve essere procrastinata finché non sono chiari gli obiettivi del progetto e i requisiti non sono ben definiti, concordati e formalizzati;
- In fase di pianificazione e analisi si individuano eventuali difetti;
- Data la rigidità del metodo la documentazione è molto dettagliata;
- I vincoli temporali di ciascuna fase permettono un monitoraggio e un controllo agevolati;

Punti di debolezza:

- alto **Time To market**, spesso il progetto può durare mesi o anni per cui si godrà dei benefici solo alla fine, questo arreca degli svantaggi ai committenti che riceveranno quanto spetta loro solo alla fine;
- **Rigidità**: a causa della progettazione dettagliata all'inizio, è difficile poter modificare eventuali requisiti;
- **Costi elevati**: spesso a differenza di quanto si possa sperare, ci si ritrova a dover affrontare delle situazioni complesse, soprattutto quando si implementa un software, dato che le fasi sono strettamente correlate, questo trascina insieme a se gli errori determinando oltre che un aumento dei tempi anche dei costi [12].

## 1.5.2 Approccio *Agile*

In un mondo dove il *time to market* tende sempre più a ridursi, nello sviluppo dei software i metodi tradizionali risultano obsoleti a differenza dei metodi iterativi che risultano rapidi, leggeri, flessibili e funzionanti.

La metodologia *Agile* applica delle pratiche di gestione innovative e iterative nei progetti in cui i requisiti e le soluzioni maturano in corso d'opera attraverso la collaborazione del team di sviluppo con la committenza.

Il termine *Agile* nasce nel 2001 con la pubblicazione del *Agile Manifesto*, il termine fa riferimento a una serie di approcci che riguardano la gestione di sviluppo software.

Il manifesto agile recita [10]:

*Stiamo scoprendo approcci migliori per sviluppare il software, praticandoli ed aiutando altri a praticarli. Grazie a questo lavoro siamo arrivati a ritenere importanti:*

- *gli individui e le loro interazioni, più che i processi e gli strumenti;*
- *il software funzionante, più che una documentazione omnicomprensiva;*
- *la collaborazione con il cliente, più che la negoziazione dei contratti;*
- *il rispondere ai cambiamenti, più che il seguire un piano.*



Figura 1.17: *Agile project management method* [24]

La nuova filosofia *agile* si basa sul ciclo di Deming o metodologia Plan-Do-Check-Act. Il ciclo di Deming è un processo iterativo che mira al miglioramento del prodotto, del servizio e del processo.

Consta di quattro fasi che si susseguono:

1. **Plan** o pianificazione, si stabiliscono gli obiettivi e i processi necessari per fornire risultati in accordo con i risultati attesi;
2. **Do** o esecuzione del programma, inizialmente in contesti circoscritti; con questo si attua il piano, si esegue il processo e si crea il prodotto. In questa fase vengono raccolti i dati per la creazione di grafici e analisi da destinare alla fase di *Check* e *Act*.
3. **Check**, si eseguono test e analisi di controllo, studio e raccolta dei risultati e dei riscontri nella fase *Do*, questi si confrontano con i risultati attesi e gli obiettivi del *Plan*, dopodiché si verificano le eventuali differenze.
4. **Act**, consiste nell'azione per rendere definitivo e/o migliorare il processo. Richiede azioni correttive sulle differenze significative tra i risultati effettivi e previsti, analizza le differenze per determinarne le cause e dove applicare le modifiche per ottenere il miglioramento del processo o del prodotto [13].

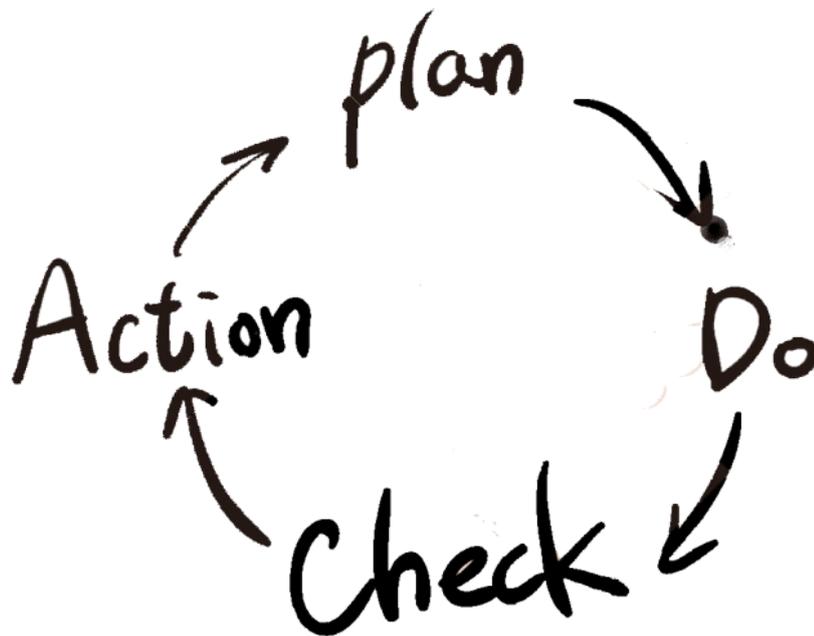


Figura 1.18: Ciclo *Plan-Do-Check-Act* [27]

Quando un procedimento, attraverso questi quattro passaggi, non comporta la necessità di migliorare la portata a cui è applicato, il ciclo PDCA può essere raffinato per pianificare e migliorare con maggiore dettaglio la successiva iterazione, oppure l'attenzione deve essere posta in una diversa fase del processo.

L'adozione del ciclo PDCA determina un miglioramento continuo indipendentemente dallo studio dei risultati ottenuti. Spesso, quando si effettua un cambiamento, si trascura l'analisi di quello che succederà dopo l'implementazione dello stesso. Però, nella pratica, anche una semplice modifica può avere un effetto negativo sul processo in esecuzione. Il ciclo di Deming, infatti, enfatizza il carattere iterativo del cambiamento.

Tra i modelli della metodologia Agile vi sono lo *Scrum*, il *Feature Driven Development*, il *Dynamic System Development Method*, il *Lean Software Development*, il *Crystal Clear*, l'*Extreme Programming* e altri. Tutte si basano sull'iterazione e sul feedback continuo con lo scopo di ottenere risultati in tempi rapidi ed efficaci (Highsmith e Cockburn, 2017).

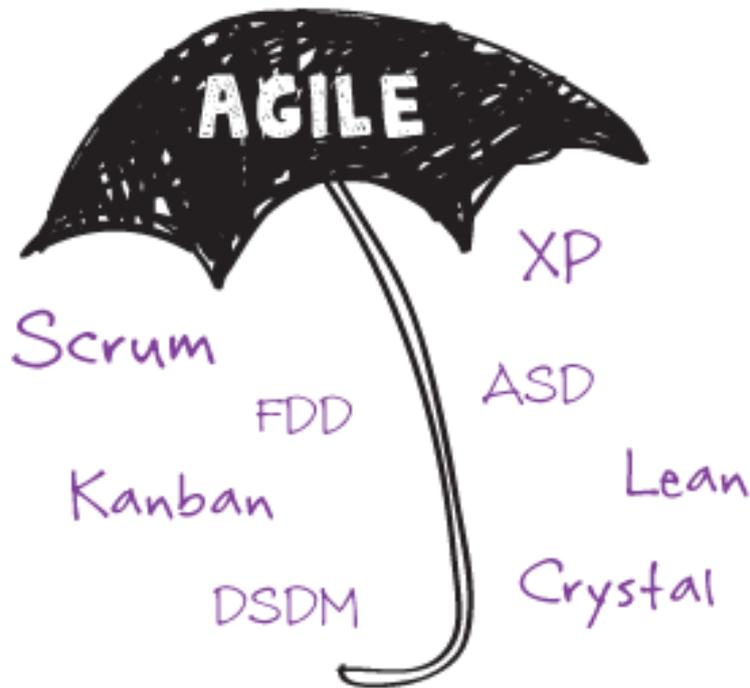


Figura 1.19: *Agile umbrella* [25]

Tutti i modelli sono accomunati di seguenti dodici principi recitati nel *Manifesto Agile*:

1. La nostra massima priorità è soddisfare il cliente rilasciando software di valore, fin da subito e in maniera continua.
2. Accogliamo i cambiamenti nei requisiti, anche a stadi avanzati dello sviluppo. I processi agili sfruttano il cambiamento a favore del vantaggio competitivo del cliente.
3. Consegnamo frequentemente software funzionante, con cadenza variabile da un paio di settimane a un paio di mesi, preferendo i periodi brevi.
4. Committenti e sviluppatori devono lavorare insieme quotidianamente per tutta la durata del progetto.
5. Fondiamo i progetti su individui motivati. Diamo loro l'ambiente e il supporto di cui hanno bisogno e confidiamo nella loro capacità di portare il lavoro a termine.

6. Una conversazione faccia a faccia è il modo più efficiente e più efficace per comunicare con il team e all'interno del team.
7. Il software funzionante è il principale metro di misura dell'avanzamento.
8. I processi agili promuovono uno sviluppo sostenibile. Gli sponsor, gli sviluppatori e gli utenti dovrebbero essere in grado di mantenere sempre un ritmo costante.
9. La continua attenzione all'eccellenza tecnica e alla buona progettazione esaltano l'agilità.
10. La semplicità - l'arte di massimizzare la quantità di lavoro non svolto - è essenziale.
11. Le architetture, i requisiti e la progettazione migliori emergono da team che si auto-organizzano.
12. A intervalli regolari il team riflette su come diventare più efficace, dopodiché regola e adatta il proprio comportamento di conseguenza. [10]

Punti di forza della metodologia *Agile*:

- si parte in modo rapido con l'implementazione di tipo incrementale;
- i requisiti non sono statici ma possono cambiare in fase di esecuzione;
- l'approccio risulta sensibile ai cambiamenti riuscendo a rispondere con rapidità;
- verifiche continue dei requisiti e del grado di soddisfazione;
- continuo feedback fornitore-committente.

Punti di debolezza:

- non avendo una pianificazione rigida a monte ci si può ritrovare ad eseguire le *task* in modo caotico;
- gli individui devono essere qualificati e dentro la nuova ottica *Agile*;
- spesso i tempi di coinvolgimento si allungano;
- lavorando sul breve periodo ci si ritrova a perdere di vista l'obiettivo finale del lungo periodo;
- a causa della documentazione poco dettagliata ci si può ritrovare ad avere problemi in futuro.

## Le caratteristiche di *Scrum*

Scrum è definito un framework per sviluppare e sostenere prodotti complessi. Come tutte le metodologie *Agile*, si basa sulla divisione del progetto in più fasi, chiamate *Sprint*.

In ogni Sprint il gruppo di lavoro presenta nuove funzionalità implementabili che vengono valutate.

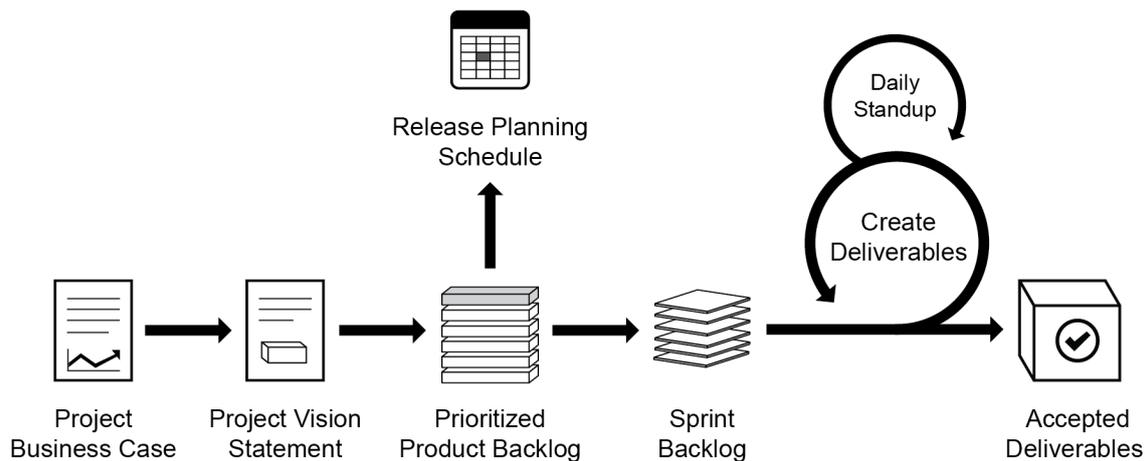


Figura 1.20: *Scrum Flow* per uno *Sprint* (SCRUMstudy, 2006)

Nello Scrum si individuano Ruoli, Artefatti ed Eventi.

## *Waterfall VS Agile*

Waterfall ed Agile sono allora due metodologie che distinguono due famiglie, da un lato i metodi predittivi e dall'altro i metodi adattivi con approcci iterativi e incrementali.

Sintetizzando allora la differenza tra i due:

- da un lato si vuol sapere prima di iniziare a lavorare cosa si deve fare, come e quando. Definendo questo si vuol seguire quanto deciso e non cambiare;
- dall'altro, spesso le idee, soprattutto all'inizio, non sono chiare per cui si parte ma poi si decide iterando mano a mano.

Entrambi allora hanno sia dei punti di forza che di debolezza, ma spesso, dato che la maggior parte dei progetti legati al *digital* presentano ampi margini di variazioni, l'*Agile* consente di mitigare i rischi in modo efficace [14].

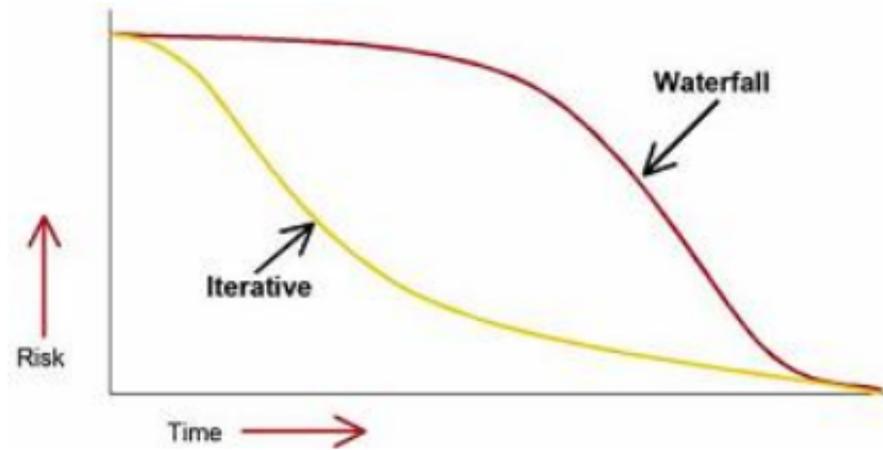


Figura 1.21: *Agile VS Waterfall risk* [15]

Se volessimo fare un confronto tra le due metodologie richiamando quanto scritto nei paragrafi precedenti per ognuna delle due, nella Tabella 1.1, si schematizzano le principali differenze:

	<i>Waterfall</i>	<i>Agile</i>
<b>Definizione <i>requirements</i></b>	Si definiscono in modo dettagliato in fase di avvio del progetto	Si definiscono in fase di avanzamento del progetto, iterazione dopo iterazione
<b>Andamento</b>	Sequenziale, conclusa una fase può essere avviata la successiva	Iterativo, possono essere eseguite fasi brevi ma soprattutto in parallelo
<b>Processo</b>	Strutturato e pianificato inizialmente	Flessibile, sono già dalla fase iniziale tenuti in considerazione eventuali cambiamenti
<b>Tempo e risorse</b>	Variabili	Fissi
<b>Cambiamenti</b>	No, se l'azione è già stata compiuta	Si, spesso dato che gli step non hanno sempre esito positivo e necessitano di modifiche
<b>Coinvolgimento fornitore</b>	Nella fase iniziale e finale del progetto	Continuo poichè spesso è necessaria una modifica a monte per l'implementazione
<b>Testing</b>	Dopo lo sviluppo del progetto	Integrato e continuo per verificare buon funzionamento di quel che è stato fatto nelle varie iterazioni
<b>Feedback</b>	Alla fine	Continuo
<b>Prioritizzazione dei requisiti</b>	Fissata all'inizio nella fase di definizione dei requisiti	Aggiornata regolarmente a seconda dei risultati ottenuti
<b>Organizzazione</b>	Gestita da un <i>leader</i> che guida il progetto in base a quanto strutturato inizialmente	Organizzata, vi è un continuo feedback e coinvolgimento di tutti i componenti del gruppo
<b>Leadership</b>	Comando e controllo	Collaborativa
<b>Misurazione delle prestazioni</b>	Coerenza con il piano di gestione	In base al valore di business
<b>Rischi</b>	Elevato fino alla fase di <i>coding</i>	Tende a ridurre il rischio in modo più rapido a seguito delle varie iterazioni eseguite

Tabella 1.1: Differenze tra approccio *Waterfall* e *Agile*

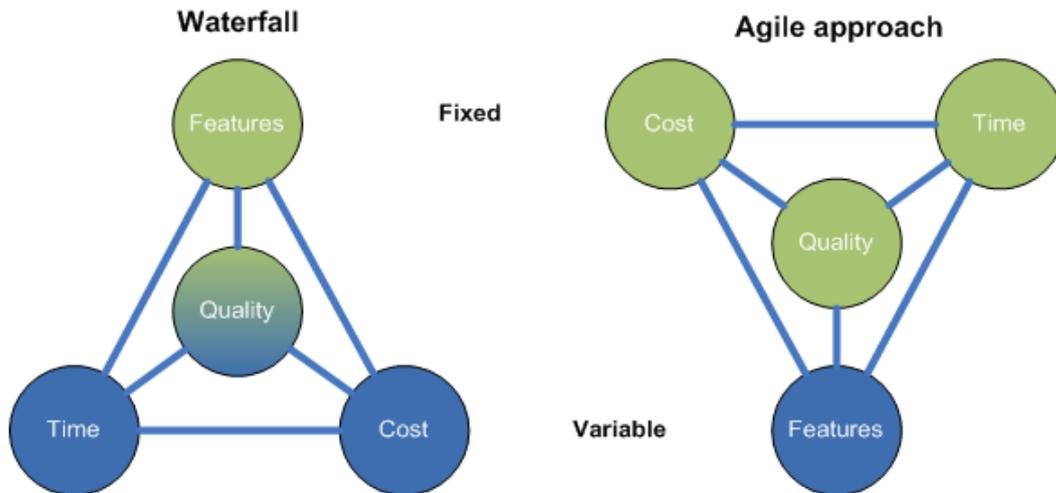


Figura 1.22: Come il *Ferrous Triangle* cambia tra metodologia *Waterfall* ed *Agile* [29]

Definire il migliore tra le due metodologie è difficile dato che sono molto differenti tra di loro ed ognuna ha sia una serie di pregi che di debolezze, la scelta dipende prettamente dal progetto, dal livello di chiarezza intorno ai requisiti e dalla flessibilità che si può avere.

Se si ha una visione chiara di dello *scope* del progetto, se sono stati fissati i requisiti e si è certi che questi non cambieranno, se si sta lavorando su un progetto relativamente semplice, *Waterfall* potrebbe essere la scelta migliore rispetto ad *Agile* poichè se non ci si aspetta un cambiamento, *Waterfall* risulta un processo semplice ed efficiente.

Quando invece non si dispone di un'immagine chiara del prodotto finale, si anticipano i cambiamenti e si sta lavorando su un progetto complesso, *Agile* è più adatto. *Agile* è progettato per soddisfare le nuove esigenze in continua evoluzione in qualsiasi momento durante il progetto, mentre *Waterfall* non consente di tornare a una fase completata e apportare modifiche.

## 1.6 Esempi tratti dalla letteratura e *research gap*

I progetti di tipo aerospaziale rappresentano una tra le tipologie di progetti più costosi e complessi al mondo. Il costo puro degli appalti di questo tipo continua ad aumentare a dismisura, si stima che questi possano aumentare di oltre il 60% rispetto alle stime iniziali (U.S. Government Accountability Office, 2015), di conseguenza, molte aziende che operano nel settore, sono alla ricerca di nuovi modi di lavorare che controllino i costi garantendo al tempo stesso la massima qualità.

Nel presente paragrafo si analizzano alcuni casi in cui aziende che operano nel settore utilizzano il *project management* per gestire vari progetti, per quel che è stato possibile trovare disponibile in letteratura, dato che buona parte di materiale del settore viene secretato.

La ricerca è stata effettuata attraverso parole chiave su piattaforme online di riviste scientifiche, la rivista su cui è stato possibile reperire più materiale è l'*American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) Journal*, la ricerca è stata effettuata raccogliendo una serie di casi relativi al *project management* nel settore *aerospace*, dopodiché questi sono stati analizzati e classificati.

### Caso *JAS 39E Saab Gripen*

*Saab Defense*, compagnia aerospaziale svedese, ha adottato un processo Agile nella gestione di un progetto relativo alla produzione di un nuovo caccia multisistema, il JAS 39E Saab Gripen (Figura 1.23), sia per quanto riguarda la parte *hardware* che *software*, *Saab Defense* è stata la prima azienda del settore ad aver progettato un aereo da combattimento completo attraverso il *framework* Scrum (Furuhjelm *et al.*, 2017).



Figura 1.23: JAS 39E Saab Gripen E [48]

Saab ha adottato un approccio Agile nella gestione di quasi tutti i progetti in ballo, offrendo risultati visibili più velocemente, una qualità più elevata e costi drasticamente inferiori rispetto ai progetti simili precedenti. Saab risulta la prima azienda a lanciare sul mercato un jet da combattimento completo costruito con le moderne pratiche di Scrum.

La pratica Agile di Saab si concentra sull'abilitare i team a migliorare continuamente le loro prestazioni. L'obiettivo è che ogni ingegnere, ogni giorno, esegua il compito più importante con un minimo di ostacoli. Questo crea un ambiente di chiarezza per i team, massimizzando il loro senso di impegno.

Nei nuovi programmi, le pratiche dell'*Agile* vengono implementate su ogni livello e su ogni disciplina: progettazione di software, hardware e *end-item*, utilizzando così le tecniche Scrum, Kanban e XP.

In Saab, i team che utilizzano l'approccio *Agile* lavorano su Sprint di tre settimane e iniziano e finiscono lo stesso giorno, oltre ad aver sincronizzato i singoli Sprint ha sviluppato un metodo con cadenza trimestrale per le iterazioni nei cicli.

Il piano generale del progetto è suddiviso in modo iterativo, al livello più alto c'è la fase di sviluppo, qui vengono sviluppati gli obiettivi funzionali e la sincronizzazione delle attività in molte delle principali discipline come la struttura del velivolo, l'installazione, lo sviluppo del sistema, i sistemi di supporto. Inoltre definisce ciò che è importante ottenere durante l'esecuzione, ad esempio, il periodo di volo di prova corrispondente. Una fase di sviluppo è a sua volta suddivisa in diversi incrementi con consegne di prodotti più piccoli e più gestibili.

In Saab inoltre, un elemento chiave per il successo è una pianificazione strategica rigorosa, il piano strategico è un vincolo vitale poichè costringe le squadre a visualizzare la loro attuale road map e come si inserisce in quel piano. I piani strategici sono visti come documenti indispensabili in costante bisogno di modifiche basate sul feedback.

Il piano strategico rappresenta una delle aree più importanti in cui le pratiche Agile sono collegate alla gestione tradizionale dei progetti. La necessità di un piano strategico non dovrebbe tuttavia essere confusa con una tabella di Gantt microgestita che espone un lavoro dettagliato per gli anni a venire. Invece la granularità del piano varia a seconda della messa a fuoco. La fase di sviluppo attuale contiene molti più dettagli rispetto alle fasi future.

Attraverso pratiche agili, Saab può gestire la variabilità e guidare le prestazioni con chiarezza e impegno. Il risultato è un aereo consegnato a un costo inferiore, con maggiore velocità e maggiore qualità (Furuhjelm *et al.*, 2017).

### Caso *Einstein Probe*

La *Einstein Probe* (EP) è una missione di esplorazione nello spazio attraverso un satellite artificiale per studiare i transienti, cioè i fenomeni fisici, ad alta energia. La missione è stata proposta nel 2012 dall'Accademia della scienza cinese (CAS) e fa parte del Programma di Scienze Spaziali Cinese, è destinata al lancio entro la fine del 2022 con una durata nominale di 3 anni (5 anni come obiettivo) [48].

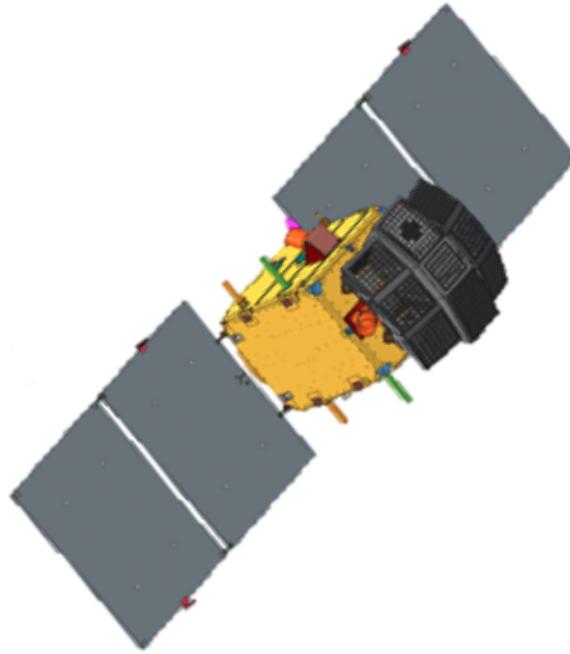


Figura 1.24: Satellite artificiale per la missione *Einstein Probe* [48]

Nello sviluppo del software per il satellite EP è stato adottato principalmente un modello a V combinato ad un modello *Waterfall* e ad uno iterativo. Il *V model* è molto simile al modello *Waterfall*, entrambi sono caratterizzati dalle stesse fasi che si susseguono però, la differenza con il *Waterfall* sta nella presenza di una fase di test per ogni fase di sviluppo, il *V model* dunque, corrisponde ad un modello *Waterfall* migliorato (Liu e Wei, 2018).

Per lanciare il progetto è stato implementato un progetto Pilota attraverso lo sviluppo di un software di simulazione.

Il progetto è partito da un'analisi delle funzioni che il software avrebbe dovuto svolgere e da queste sono stati individuati i requisiti tecnici per poter compiere tali funzioni, in questo modo sono state individuate le caratteristiche principali che sarebbero state implementate sul software ufficiale del satellite.

L'implementazione è caratterizzata dai seguenti processi:

- analisi dei requisiti, è fondamentale ottenere e comprendere i requisiti dell'utente, ci si focalizza sulla comunicazione con gli *user* per cui si lavora su feedback, in tale fase vengono effettuati dei test funzionali in base alla progettazione,
- *design* generale e *design* dettagliato, in cui si va a strutturare più nel dettaglio quanto definito secondo i requisiti della fase precedente,
- fase di test di integrazione, di configurazione e del sistema, in base ai loro risultati vengono effettuati test integrati, si modifica il codice o si procede verso la fase successiva.

Dopo aver effettuato le fasi appena elencate, è stato convalidato il software per il progetto pilota, così l'algoritmo di base è stato implementato per il software dell'EP.

La combinazione dei tre modelli, *Waterfall*, V e iterativo, ha reso il processo più efficace. L'implementazione del software sul satellite, dopo uno studio preliminare eseguito sul software pilota e il feedback continuo da parte degli *user*, è stata semplice poichè ha ridotto il rischio, ha dato maggiore controllo e ha reso il processo più semplice.

## Caso DO-178B

DO-178B o *Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification* sono degli standard utilizzati per garantire la sicurezza dei software avionici, fornendo una linea guida nelle aree di sviluppo SW, gestione delle configurazioni, verifiche e interfacce secondo le autorità di approvazione aerospaziali.

Lo standard DO-178B consente una varietà di metodi purché soddisfino gli obiettivi dichiarati (Radio Technical Commission for Aeronautics, 1992). Anche se tradizionalmente molti sviluppatori e manager hanno interpretato lo standard in un processo a cascata, con l'avvento dei nuovi metodi iterativi è stato dimostrato che questo si adatta senza problemi (VanderLeest e Buter, 2009).

Il passaggio allo sviluppo Agile non richiede cambiamenti improvvisi e radicali, ma può essere realizzato integrando i metodi Agile in un processo esistente. Una tra le prime prove è stata eseguita su un Lockheed-Martin 382J, una variante commerciale dell'aereo militare C-130, per dare la priorità ai requisiti del progetto, per sviluppare il software secondo lo standard DO-178B, hanno utilizzato il feedback del cliente per identificare problemi importanti. La produttività per l'approccio utilizzato è stata notevole poiché sono state ridotte le *source lines of code*, cioè la dimensione del software basandosi sul numero di linee di codice sorgente (Middleton e Sutton, 2005).

Sul Boeing 777 è stato identificato un processo di produzione a cascata, però in fase di studio del processo, sono stati trovati elementi iterativi all'interno di parti dello stesso sviluppo. Tuttavia, il focus del suo studio era l'ingegneria hardware e dei sistemi, con alcuni confronti con lo sviluppo del software (Jorgensen, 2006).

Nella Figura 1.25 si schematizza un processo a cascata secondo lo standard DO-178B, il primo stadio consiste nello sviluppare una pianificazione e individuare gli standard richiesti da DO-178B, in processi del genere vi sono delle fasi intermedie definite *Stage of Involvement* (SOI) in cui la *Federal Aviation Administration* (FAA) o l'*European Union Aviation Safety Agency* (EASA) esaminano ed approvano quanto fatto sino a quel momento.

Dopo il primo coinvolgimento il team sviluppa dei requisiti software che portano ad un secondo SOI, dal quale si parte per un *testing* del codice sino ad arrivare all'ultimo SOI.

Successivamente si procede con diversi tipi di analisi generali (ad esempio, copertura strutturale, analisi dei tempi, ecc.) Quindi la certificazione finale del progetto garantisce che il team del progetto abbia affrontato tutte le questioni identificate dai primi tre SOI.

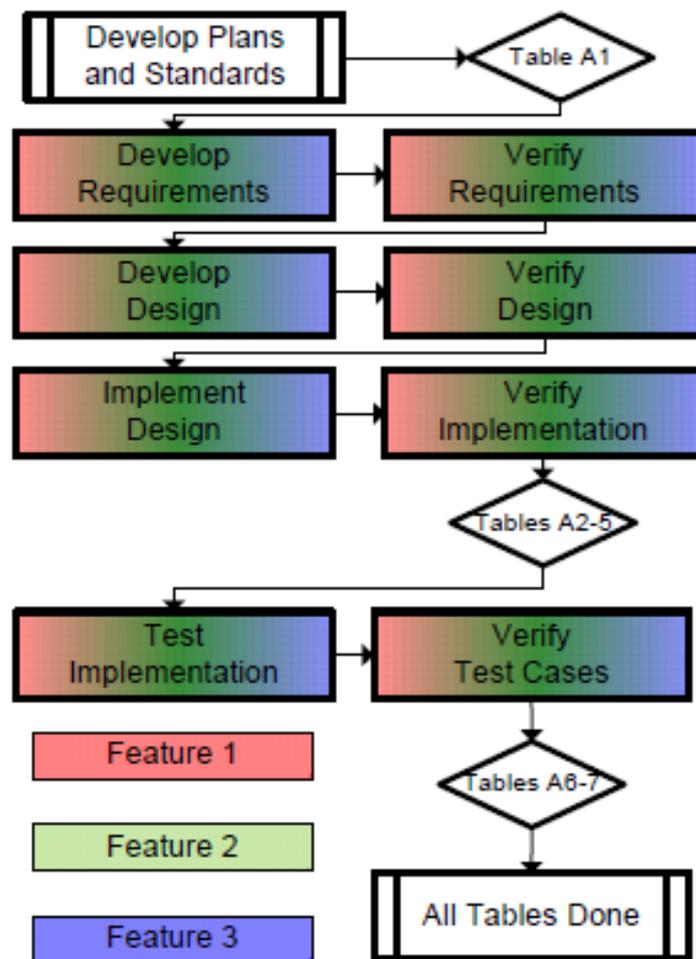


Figura 1.25: *Waterfall DO-178B* (VanderLeest e Buter, 2009)

L'approccio tradizionale rende difficile un processo di sviluppo Agile perché, a causa della sua rigidità, non permette dei passaggi iterativi che riescano a dare una visione più ampia di quello che si sta facendo, nell'Agile invece, le fasi che si susseguono dopo il primo SOI sono interattive e iterative (Figura 1.26).

Nel processo, i piani e gli standard di sviluppo sono sviluppati, esaminati e approvati allo stesso modo dell'approccio tradizionale, dopo che la ha approvato i documenti, il processo cambia radicalmente.

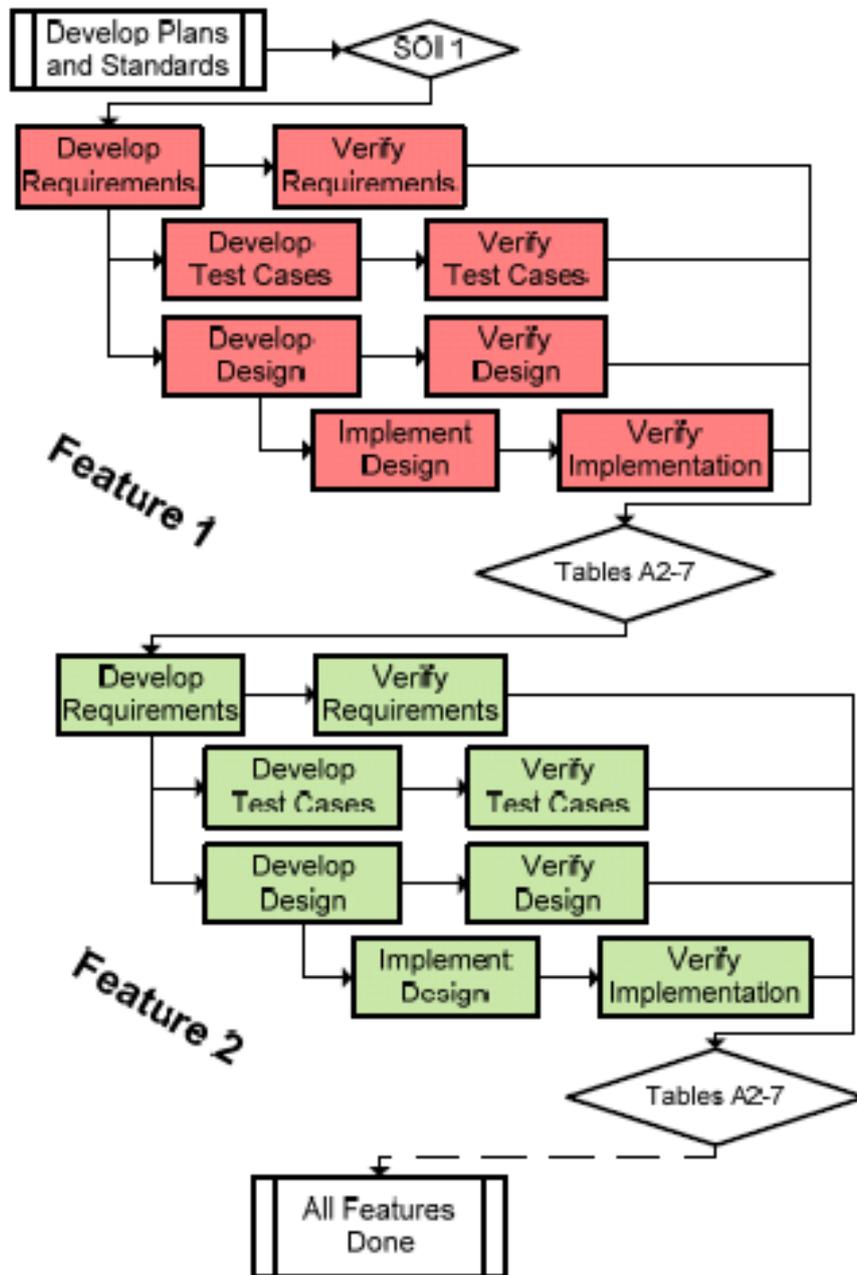


Figura 1.26: Agile DO-178B (VanderLeest e Buter, 2009)

Intanto, nel processo le risorse vengono inserite o sostituite durante un'iterazione, la FAA dopo un numero predeterminato di iterazioni, esegue un audit SOI intermedio che copre tutte le tabelle obiettive (ma solo per le funzionalità sviluppate dall'ultima verifica), dopo ciascuno di questi audit, il software diventa pronto per la certificazione finale (VanderLeest e Buter, 2009).

Dopo l'analisi della letteratura relativa al project management, sia in generale che nel settore *aerospace*, e l'analisi di alcuni casi reali tratti dalla letteratura scientifica sugli approcci del project management nel settore in causa si cercherà di applicare le metodologie del project management al caso in esame e si cercherà di individuare eventuali *gap* che dovranno essere colmati.

Reperire materiale sul project management nel settore è stato molto difficile dato che spesso questo risultava secretato, però in base ai casi reperiti si deduce che la metodologia preferita dalle aziende che operano nell'*aerospace* è principalmente l'*Agile*, anche se non in modo esclusivo. Spesso infatti ci si ritrova ad utilizzare l'approccio *Agile*, ma per la rigidità del settore e l'elevato numero di standard presenti, soprattutto nella fase iniziale, si decide di eseguire una pianificazione strategica rigorosa, vedi *Caso JAS 39E Gr.*

È vero che rispetto al metodo tradizionale l'*Agile* presenta vantaggi in termini di riduzione dei tempi, dato che riduce il *time to market*, riduce dei costi, questi ultimi nel lungo periodo, e supporta verso una maggiore innovazione. D'altro canto però, esso richiede il superamento di alcuni ostacoli per avvicinarsi sempre più alla nuova metodologia: come l'investire in *training*, l'innestare una struttura comunicativa solida e lavorare in continuazione secondo processi iterativi.

Il passaggio ad Agile non è mai facile, tuttavia, seguendo questi passaggi, le organizzazioni possono facilitare la transizione e favorire l'adozione per risultati più rapidi.

Nel caso studio analizzato, l'azienda presenta dei *lack* in termini di training, struttura comunicativa e metodo di lavoro iterativo. L'uniformità comunicativa e l'utilizzo di *work-flow* manageriali che possano interfacciarsi fra loro sono considerate come *conditio sine qua non* dell'applicazione con successo dell'approccio Agile. Venendo meno i fondamenti necessari alla creazione di una visione condivisa dell'approccio di gestione dei progetti, quale è l'*Agile*, occorre ricorrere al più classico e diffuso approccio, il *Waterfall*.

Valutando i casi precedentemente trattati, facenti parte dello *State of the Art*, il presente lavoro di tesi intende dimostrare come l'applicazione di un approccio che utilizza gli strumenti del metodo tradizionale con l'ausilio di alcune tecniche e strumenti della metodologia *Agile*, possa ugualmente portare al raggiungimento degli obiettivi un'azienda che opera nel settore *aerospace*, nonostante questa non sia ancora pronta all'applicazione dell'*Agile* puro.

L'obiettivo dell'elaborato allora, dal punto di vista della letteratura, fornisce dei risultati che fungono da base per applicazioni future degli strumenti del project management nell'implementazione di software nel settore aerospaziale mediante approccio *Waterfall* che utilizza alcuni strumenti e tecniche della metodologia *Agile*.

# Capitolo 2

## Microtecnica S.r.l.

In questo capitolo si descrive la storia della Microtecnica, un'azienda del borgo San Salvatore di Torino, di come da piccola sia passata a far parte del conglomerato americano *United Technologies Corporation*, rimanendo indipendente nella sua produzione. A seguire si descrivono i reparti, i prodotti e la cella spazio, dove si producono alcuni componenti del lanciatore spaziale *Ariane 5*.

### 2.1 Dalla Microtecnica S.r.l. alla UTC

Microtecnica è stata fondata dall'ingegner Derossi nel 1929, da sempre dedicata alla meccanica di precisione per sistemi navali e al settore aeronautico, sia civile che militare.

La produzione, a partire dalla seconda guerra mondiale, inizia ad orientarsi verso la realizzazione di componenti per uso militare come bussole, piloti automatici per aerei, apparati guida per siluri, micrometri, mentre le poche lavorazioni non belliche si basano fondamentalmente sulla costruzione di apparecchiature per l'industria cinematografica come proiettori, lenti meccaniche, strumenti per montaggi.

L'azienda subisce dei pesanti danni durante il conflitto, al termine riprende la propria attività, continuando però a specializzarsi sui proiettori e le lenti meccaniche, rami nei quali era attiva sin dall'inizio.

In generale, la sua produzione si diversificava sia nel campo civile che militare, per il primo nella strumentazione di precisione per il secondo nei sistemi di attuazione elettromeccanica ed oleodinamica [1].



Figura 2.1: Logo Microtecnica (Utas, 2018)

Nel 1983 l'azienda è acquistata dal gruppo statunitense *Hamilton Standard*, questa si unì nel 1999 alla *Sundstrand Corporation* diventando *Hamilton Sundstrand* sotto il conglomerato *United Technology Corporation*.

Microtecnica detiene la quota di maggioranza fino al 2008, quando la società, in seguito a un'operazione di *management buy-out*, diventa completamente indipendente. Un passaggio preceduto dall'assorbimento, nel 2001, della Magnaghi di Brugherio, che rafforza la presenza della fabbrica torinese nei settori degli equipaggiamenti idraulici di bordo e dei controlli di volo primari (Utas, 2018).

Nel 2012, la UTC acquistò la *Goodrich Corporation* che fondendosi con la *Hamilton Sundstrand* formarono la *UTC Aerospace Systems* [3].



Figura 2.2: Logo UTC Aerospace Systems (Utas, 2018)

A settembre 2017 la UTC decise di acquistare la *Rockwell Collins*, così il 26 novembre 2018 nasce la *Collins Aerospace* a seguito di una fusione tra la *Rockwell Collins* e la *UTC Aerospace Systems* (Utas, 2018).



Figura 2.3: Logo Collins Aerospace [5]

La United Technologies Corporation (UTC) è una multinazionale statunitense cosiddetta conglomerata, ossia ha diverse divisioni in diversi settori economici [4].

Ad oggi le *business unit* della UTC sono:



Figura 2.4: Esempio di alcuni output del gruppo UTC (Utas, 2018)

- **Otis Elevator Company**, produce, installa e manuziona ascensori, scale mobili e tapis roulant.
- **Pratt & Whitney**, progetta e costruisce motori per aerei, turbine a gas, razzi, unità di potenza ausiliarie e di terra e piccoli prodotti di propulsione a turbogetto.
- **Collins Aerospace**, progetta e produce sistemi aerospaziali per aerei civili e militari, è il maggior fornitore di programmi spaziali internazionali.
- **UTC Climate, Controls & Security**, produce dei sistemi di sicurezza antincendio, sicurezza, automazione degli edifici, riscaldamento, ventilazione, sistemi di climatizzazione e servizi di refrigerazione che promuovono edifici più sicuri, intelligenti e sostenibili.
- **United Technologies Research Center (UTRC)**, struttura di ricerca centralizzata, che supporta tutte le unità produttive UTC per lo sviluppo di nuove tecnologie e processi.

La Collins Aerospace ha circa 150 siti che operano in 25 Paesi differenti, ha sede a West Palm Beach in Florida e conta circa 23 miliardi di dollari di ricavi.

Le sue principali *business unit* possono essere raggruppate su due segmenti, i sistemi per aeromobili (*Aircraft Systems*) e i sistemi di controllo, alimentazione e rilevamento (*Power, Control&Sensing Systems*).

Sistemi per aeromobili	Sistemi di controllo, alimentazione e rilevamento
Sistemi di attuazione	Sistemi elettrici per aeromobili
Aerostrutture	Sistemi di controllo del motore
Sistemi di controllo a bordo	Componenti del motore
Interni dei velivoli	Sistemi informatici di bordo
Sistemi di atterraggio	Sistemi di propulsione
	Programmi spaziali
	Sensori e sistemi integrati, ruote e freni

Tabella 2.1: Sistemi prodotti dal gruppo *Collins Aerospace*



Figura 2.5: *Collins systems* (Utas, 2018)

La Microtecnica lavora nel settore degli *Actuation Systems* in tutti e tre gli stabilimenti insieme a Wolverhampton (UK), Buc (F), Saint Ouen l'Aumone (F), Vernon (F), Bengaluru (IND), Oxfordshire (UK) e Claverham (UK). Microtecnica, nonostante i cambiamenti subiti a livello *corporate*, rimane indipendente e attiva nella produzione di componenti e parti nei campi missilistico, aerospaziale ed aeronautico [5].

## 2.2 Lo stabilimento di Torino

In Italia il gruppo *Collins Aerospace* possiede tre stabilimenti, Torino, Luserna San Giovanni e Brugherio, per un totale di di più di 500 impiegati e un fatturato di quasi 180 milioni di euro (2017). Tra i clienti principali di Microtecnica vi sono Leonardo, Airbus, TAI, Piaggio Aerospace, Cessna, Panavia, Avio Aero, Airbus Safran Launchers.

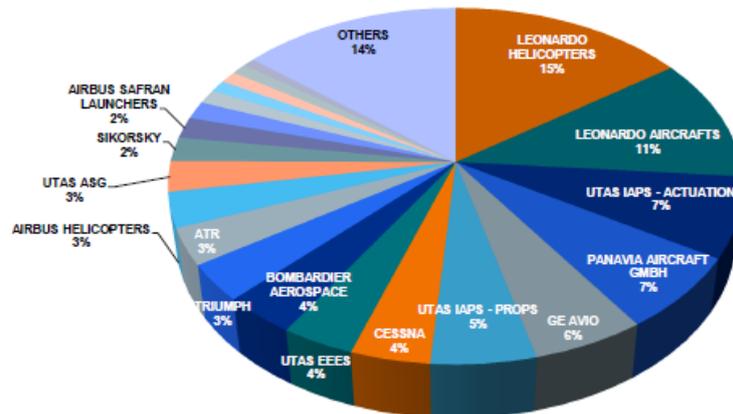


Figura 2.6: *Total 2017 Sales by Customer*, (UTAS, 2018)

Nello stabilimento di Torino vi sono gli uffici amministrativi e qui vengono prodotti i sistemi di controllo secondari, i sistemi di attuazione meccanici e si eseguono i trattamenti speciali.



Figura 2.7: Lo stabilimento di Torino [6]

L'azienda è costituita da vari reparti distribuiti nell'edificio, i reparti principali provvedono all'assemblaggio, alla manutenzione e alla revisione dei prodotti finiti, questi sono:

- l'**Original Equipment Manufacturer (OEM)** dove si svolgono attività di collaudo e assemblaggio dei prodotti, il reparto a sua volta si suddivide in *Low Runners* (produzione a bassi volumi) e *High Runners* (produzione ad alti volumi);
- il **Maintenance, Repair and Overhaul (MRO)** invece si occupa di attività di revisione e riparazione di componenti guasti o che hanno raggiunto il limite di ore di volo concesso;
- Il reparto *spears*, in cui si gestiscono i pezzi di ricambio e si esegue la revisione dei pezzi.

Gli altri reparti, Ingegneria della produzione, Progettazione, Qualità, Ufficio *finance*, Ufficio *supply chain*, Ufficio IT, EH&S, Officina, fungono da supporto ai reparti principali.

## 2.3 I prodotti

Microtecnica è un'azienda che produce sia prodotti civili che militari come anticipato nel paragrafo precedente, nello specifico è specializzata nella produzione di sistemi di attuazione. I sistemi di attuazione sono dispositivi che convertono i segnali elettrici in movimenti meccanici o in altre grandezze fisiche.

I prodotti firmati Microtecnica (MT) possono essere suddivisi per categorie, a seconda del prodotto si avrà un'installazione su piattaforma civile o militare.

In linea generale i tre stabilimenti si occupano di produrre secondo la classificazione che segue:

- A Torino vengono prodotti i sistemi di controllo secondari, i sistemi di attuazione meccanici e si eseguono i trattamenti speciali
- A Luserna S.G. le valvole *anti-ice* e i *thermal control systems*
- A Brugherio i sistemi di controllo primari e gli *hydraulic actuation*.

Nei paragrafi seguenti si descrivono i vari gruppi di prodotti per tipologia, realizzati nelle sedi del gruppo *Collins Italy*.

### 2.3.1 Sistemi di attuazione primari per aeromobili ad ala rotante

I sistemi di attuazione primari per aeromobili ad ala rotante vengono prodotti principalmente presso la sede di Brugherio. Gli aerogiri o aeromobili ad ala rotante sono dispositivi che utilizzano la portanza generata da particolari superfici alari, le pale, che ruotano attorno ad un albero, rotore in aerodinamica.

Microtecnica produce sia *Main Rotor Actuator* (MRA) che *Tail Rotor Actuator* (TRA), rispettivamente attuatore del rotore principale e del rotore di coda.

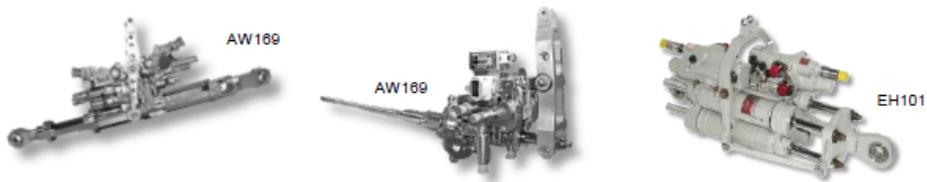


Figura 2.8: Sistemi di attuazione primari per aeromobili ad ala rotante (UTAS, 2018)

Gli attuatori sono piccole unità progettate principalmente per uso militare negli elicotteri, questi servono per azionare il meccanismo di posizionamento del rotore di coda.

Gli aeromobili su cui si installano principalmente queste tipologie di sistemi sono gli elicotteri AW109, AW 119, NH90.



Figura 2.9: Alcuni dei velivoli ad ala rotante su cui sono montati i prodotti MT (UTAS, 2018)

### 2.3.2 Sistemi di attuazione secondari per velivoli ad ala fissa

Torino è la sede principale del gruppo *Italy* dove vengono prodotti sistemi di attuazione secondari per aeromobili destinati al mercato dei velivoli *executive* e *business-jet* medio-piccoli.

I martinetti rappresentano il gruppo di prodotti con il maggior volume di produzione, sono dispositivi che permettono di trasformare il movimento rotativo in lineare.



Figura 2.10: Martinetti idraulici (UTAS, 2018)

Connessi ai martinetti vi sono dei sistemi di potenza (PVU) per martinetteria che azionano gli alberi che danno moto ai movimenti. I principali clienti sono L'*Embraer*, *Cessna* e *Learjet*.



Figura 2.11: Velivoli ad ala fissa su cui sono montati i prodotti MT (UTAS, 2018)

### 2.3.3 Valvole e servo-valvole

Le valvole sono dei dispositivi elettro-idraulici ad azione continua che trasformano un segnale analogico o digitale mutevole in un'uscita di idraulica continua.



Figura 2.12: Alcuni esempi di valvole prodotte dalla MT (UTAS, 2018)

Le valvole fanno parte del secondo gruppo di prodotti più venduti firmati MT, il cliente principale è ATR, le valvole più vendute sono le *Propeller Valve Module* (PVM) e le *Propeller Servo-Valve* (PSV).



Figura 2.13: Velivoli su cui sono montate le valvole prodotte dalla MT (UTAS, 2018)

### 2.3.4 Rigs

I *rigs* sono particolari banchi di collaudo per testare prodotti interni.

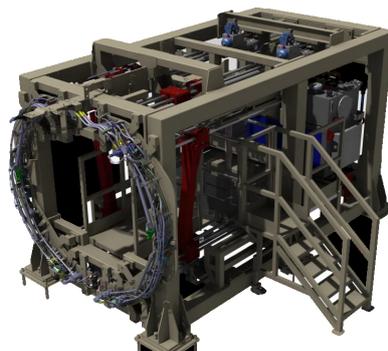


Figura 2.14: *A320Neo Nacelle actuation integration rig*, (UTAS, 2018)

Microtecnica ha ritenuto necessario collaudare i componenti, per cui si iniziò a progettare e costruire in casa impianti di collaudo. Successivamente il business dei *rigs* si ampliò per cui si iniziò a venderli a terzi.

### 2.3.5 Altri prodotti

L'azienda, oltre ai prodotti sopra citati produce ben altri prodotti sempre del settore.

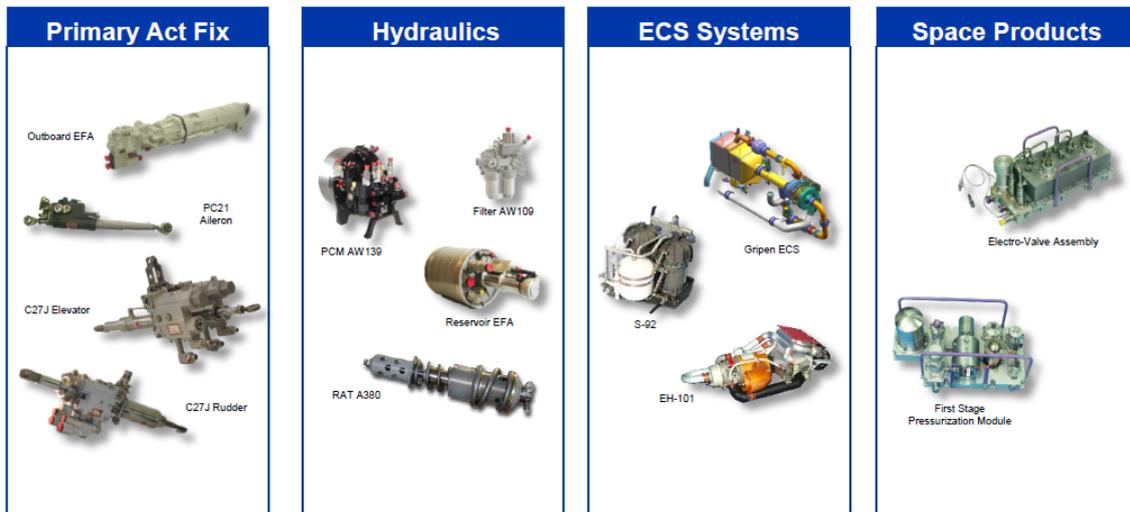


Figura 2.15: Altri prodotti realizzati dalla MT (UTAS, 2018)

- **Powertrain Control Module (PCM)**, è l'unità di controllo dell'elica, è un dispositivo idro-meccanico che si interfaccia con l'elica. In questo modo, la PCM rileva la velocità del motore del velivolo e, comandato elettricamente, controlla il flusso di olio ad alta pressione in modo che le lame dell'elica si muovano nella direzione desiderata per dell'elica per mantenere un regime di giri desiderato.
- **L'orizzonte artificiale** o *girorizzonte*, è uno strumento che permette di rilevare e misurare gli angoli che l'asse longitudinale e quello trasversale dell'aereo formano rispetto all'orizzonte naturale. Lo strumento è costituito da un rotore che, sospeso a giunti cardanici, gode di tre gradi di libertà indipendentemente dai movimenti dell'aereo. In questo modo, il pilota dell'aeromobile ha a disposizione informazioni riguardanti il beccheggio e il rollio. Questo strumento è la messa insieme di due componenti: l'indicatore di assetto e l'indicatore d'angolo.
- **Il compressore dell'elicottero NH-90**, l'NH-90 è un elicottero militare multi-ruolo biturbina medio pesante, sviluppato negli anni novanta dalle *NH-Industries*. Le caratteristiche di elevata flessibilità e versatilità dell'NH-90, ne consentono una facile e rapida riconfigurazione tale da permettere lo svolgimento di una grande varietà di tipologie di missione, tra cui il trasporto tattico e logistico, operazioni speciali, trasporto di materiali oppure trasporto sanitario.

- Gli **Environmental Control Systems** (ECS) sono dispositivi che realizzano le condizioni adeguate per i passeggeri e per l'equipaggio all'interno della cabina. I sistemi ECS comprendono sistemi relativi alla ventilazione, al riscaldamento, al raffreddamento, al controllo dell'umidità, alla pressurizzazione.

## 2.4 La cella Spazio e il progetto *Ariane*

La prima fase del *project*, come anticipato nella parte introduttiva, è implementata nel reparto *space* interno alla Microtecnica, il reparto fa parte dell'*Original Equipment Manufacturing*, con esattezza fa parte dell'*Original Equipment Low Runners*. Qui vengono prodotte e assemblate alcune valvole di regolazione della portata ad azionamento elettrico, inseriti nell'assieme del *Vulcain*, il motore del *Ariane 5*, un lanciatore sviluppato e costruito sotto autorizzazione dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA).



Figura 2.16: Ariane 5 [7]

Il lanciatore Ariane 5 è un lanciatore ancora più potente, rispetto alle versioni precedenti, basato su un'architettura piuttosto diversa poiché caratterizzato da sistemi elettrici con un maggiore livello di affidabilità. Inoltre, il lanciatore utilizza componenti più standardizzati rispetto ai suoi predecessori.

Ariane 5 rappresenta un salto qualitativo nelle tecnologie di lancio spaziale, è costituito da un serbatoio centrale al quale sono attaccati due razzi a propellente solido, questi vengono sganciati durante il volo e ritornano a terra grazie a dei paracadute, ca-

duti vengono recuperati ed esaminati. I due razzi forniscono il 90 per cento della spinta del lanciatore al decollo, mentre lo stadio criogenico primario chiamato *Étage Principal Cryotechnique* (EPC), fornisce la parte rimanente di spinta nella prima parte del volo.

L'EPC consiste in un grande serbatoio contenente due compartimenti. Il primo è riempito di ossigeno liquido e il secondo di idrogeno liquido, i due propellenti vengono utilizzati dai motori *Vulcain* (Perez, 2016).

La Cella Spazio ha come output uno *shipset* costituito da componenti che formano i *Set Motore* e i *Set Stadio* del lanciatore spaziale.

La Tabella 2.2 illustra la composizione di un shipset:

<b>Set Motore</b>	<b>Set Stadio</b>
BEV C (4 elettrovalvole, 1 filtro)	BEV H (4 elettrovalvole, 2 CARB, 1 filtro)
BEV B (3 elettrovalvole, 1 filtro)	BEV O (2 elettrovalvole, 1 filtro)
14 CARB L	1 PGD
	6 CARB L
	7 CARB F

Tabella 2.2: Set Motore e Set Stadio del lanciatore spaziale *Ariane*

I *Boitier d'Electrovannes Oxygene-Hydrogene* (**BEV**) sono delle piastre d'alluminio su cui si montano le elettrovalvole.

Il *Platine de Gonflage et Detenté* (**PGD**) è di un modulo di pressurizzazione che regola la pressione dell'elio, viene posizionato sullo stadio, alimenta il sistema nelle prime fasi del lancio dell'Ariane 5.

La *Clapet anti-retour de Balayage* (**CARB**) è un'elettrovalvola di controllo che regola il flusso dell'elio. la CARB F è flangiata nella parte superiore mentre la CARB L (in linea) no.

L'**elettrovalvola** è un dispositivo di apertura e chiusura che viene alzato o abbassato per variare la pressione all'interno delle camere del dispositivo. Queste infatti permettono la regolazione della portata del liquido/gas, che nel caso del lanciatore spaziale Ariane, si tratta principalmente di elio per alimentare il motore.

Quando Microtecnica produce uno *shipset* lo manda all'*ArianeGroup*, i componenti vengono montati così insieme al resto.

Microtecnica è coinvolta anche nello sviluppo di alcuni pezzi del lanciatore spaziale *Ariane 6*, il cui lancio inaugurale è previsto per il 2020.

# Capitolo 3

## Industria 4.0 e *Digital Transformation*

Nel seguente capitolo si descrive nel dettaglio cosa è l'Industria 4.0, ripercorrendo le varie tappe della storia della rivoluzione industriale facendo anche dei riferimenti su come questa operi nel settore aerospaziale, a seguire viene descritto il concetto di *digital transformation* e come questo si leghi all'Industria 4.0, facendo anche riferimento ai sistemi MES, dato l'implementazione di un sistema di questo tipo costituisce il primo passo verso la trasformazione digitale. Per concludere, verranno descritte le tecnologie portanti dell'Industria 4.0 e i benefici di quest'ultima.

### 3.1 Che cos'è l'Industria 4.0?

*Industria 4.0 è il termine che più frequentemente di altri (smart manufacturing, industria del futuro, industria digitale, manifattura avanzata, industria intelligente) viene utilizzato per indicare una serie di rapide trasformazioni tecnologiche nella progettazione, produzione e distribuzione di sistemi e prodotti. In particolare, descrive l'organizzazione di processi produttivi basati sulla tecnologia e su dispositivi che comunicano tra di loro.*

[Camera dei deputati, 2016]

*Industria 4.0 è la produzione industriale del futuro, che include quella estensiva di prodotti individualizzati, all'interno di ambienti produttivi altamente flessibili; che punta sull'integrazione sia dei consumatori sia dei business partner, all'interno dei processi di progettazione e creazione del valore; che promuove l'integrazione della produzione con servizi di alta qualità per realizzare prodotti ibridi.*

[Confindustria]

Rivoluzione tecnologica che si manifesta in molteplici forme ma ha nella possibilità di connettere gli oggetti tra loro (IoT), nella raccolta di enormi masse di dati in tempo reale (Big Data), nei processi di estrazione di informazione anche automatica da tali dati (data analytics) le principali premesse tecnologiche.

[Federmeccanica, 2016]

Per Industria 4.0 si intende una nuova ondata di innovazione digitale nei processi manifatturieri e logistici, si tratta di un processo di tipo *disruptive* che ha portato con rapidità alla **Quarta Rivoluzione Industriale**. Al fenomeno, negli ultimi tempi, sono stati attribuiti definizioni differenti a seconda del settore considerato: *Industry 4.0*, *Advanced Manufacturing*, *Smart manufacturing* (Bacchetti e Zanardini, 2017).

Il termine nasce in Germania nel 2011 quando durante la fiera di Hannover fu presentato il progetto *Zukunftprojekt Industrie 4.0*, questo prevedeva investimenti su diversi settori manifatturieri per ammodernare il sistema produttivo tedesco e riportare la sua industria come leader in Europa e nel mondo (Botthof e Hartmann, 2015).

Le tappe della rivoluzione industriale sono state:

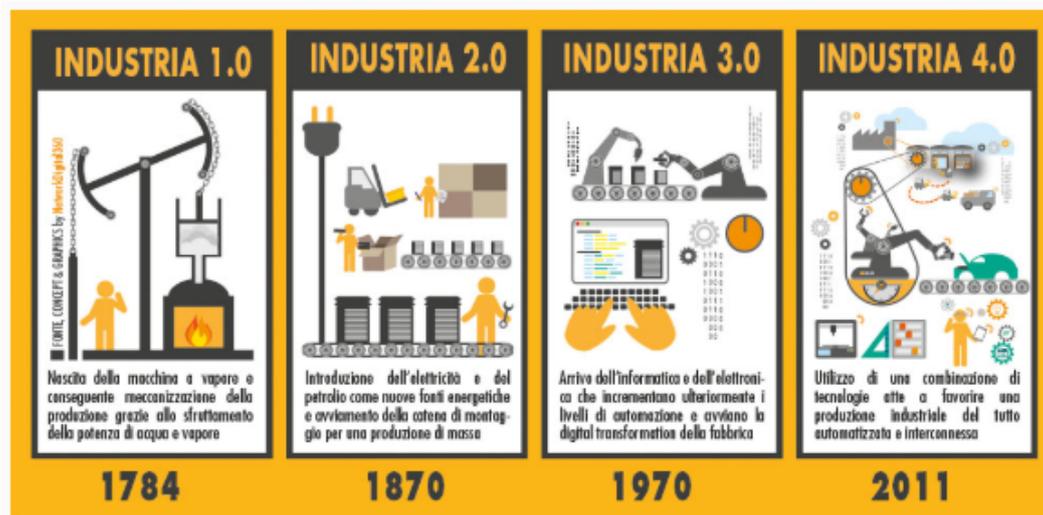


Figura 3.1: Le tappe della rivoluzione industriale [8]

- **1784, Industria 1.0**, si tratta di una rivoluzione del settore manifatturiero relativo all'utilizzo dell'energia, si definisce così per l'avvento delle macchine a vapore, queste

hanno permesso alle fabbriche di abbandonare mulini e introdurre una meccanizzazione della produzione all'insegna di una maggiore velocità e potenza. Interessò prevalentemente il settore tessile e quello metallurgico;

- **1870, Industria 2.0**, nasce come nuova rivoluzione energetica, si fonda principalmente sull'utilizzo dell'elettricità e del petrolio, questi hanno permesso sempre più di meccanizzare e incrementare i sistemi produttivi. Con l'avvento della seconda rivoluzione industriale nasce il concetto di catena di montaggio e produzione di massa;
- **1970, Industria 3.0**, nota anche come rivoluzione digitale, coincide con l'avvento dei *transistor*, con la terza rivoluzione si passa dalla meccanica alla tecnologia digitale, che si è sviluppata nei Paesi più sviluppati. Si diversificano le infrastrutture e si avviano nuovi processi che, all'insegna della progressiva digitalizzazione, agevolano il lavoro delle persone migliorando la qualità della produzione, infatti, grazie all'utilizzo dei computer e l'introduzione dei macchinari a controllo numerico (CNC), si prosegue con il processo di automazione iniziato con Ford nella seconda rivoluzione industriale ma con un'impronta digitale;
- **2011, Industria 4.0**, è una sorta di prolungamento della terza rivoluzione poiché si tratta di un'evoluzione ulteriore nel mondo delle tecnologie ICT applicate nei reparti e lungo la catena del valore delle aziende, la diffusione di internet senz'altro ne rafforza lo sviluppo. L'Industria 4.0 rappresenta una nuova rivoluzione rispetto al modo di fabbricare i prodotti e di organizzare il lavoro. Nasce con l'obiettivo di aumentare la competitività delle industrie manifatturiere, attraverso la crescente integrazione di sistemi *cyber-fisici* (*cyber-physical systems* (CPS)), nei processi industriali [8].

La quarta rivoluzione industriale dunque interesserà tutti i settori manifatturieri sottoponendoli ad una trasformazione digitale che ne sfumerà i confini, perché avrà un impatto più profondo sul sistema produttivo e socio-economico (Franzoni e Zanardini, 2017).

Rispetto alle precedenti rivoluzioni, la quarta sarà caratterizzata non dal miglioramento dei macchinari e dagli impianti produttivi attuali, quanto per rendere le aziende più *smart*. La fabbrica intelligente sarà il fulcro di un ecosistema di *business data-driven*, l'essenza sarà dunque sfruttare i dati per generare valore (Deloitte, 2015).

Ricondurre però l'Industria 4.0 ad una rivoluzione puramente tecnologica, come sostiene la Camera dei Deputati (2016), è riduttivo per una serie di motivi che la differenziano dalle altre rivoluzioni industriali: (Bacchetti e Zanardini, 2017)

- Non esiste una specifica tecnologia a fare da padrona come nella prima rivoluzione industriale con l'avvento del vapore o la seconda con le linee di assemblaggio. Nella quarta rivoluzione industriale si affiancano alle tecnologie tradizionali le nuove tecnologie digitali, grazie alle nuove sinergie nascono nuovi modelli di business;
- Nasce l'esigenza di modificare l'assetto organizzativo-gestionale per sfruttare a pieno il potenziale delle nuove tecnologie;
- È un processo rapido;
- Si adatta a qualsiasi tipologia di azienda, a prescindere da dimensione e settore industriale.

L'*Industry 4.0* dunque permette di ottimizzare le risorse presenti in azienda sfruttando al meglio le risorse digitali, questo rende sia i prodotti che i processi *smart*.

Vengono realizzati così due tipologie di dispositivi che permettono il processo di avanzamento verso l'I4.0:

- *Cyber-physical systems* (CPS), cioè un sistema informatico in grado di interagire in modo continuo con una componente fisica. La componente fisica è costituita da un dispositivo materiale caratterizzato da sensori, memorie o attuatori che permettono di percepire il mondo reale ed interagire con altri dispositivi (Heynitz *et al.*, 2016). Il sistema informatico invece, costituisce la componente virtuale caratterizzata da un *digital twin* del dispositivo materiale, cioè la copia virtuale. In fase di progettazione permette di simularne il comportamento, supportare la realizzazione, determinare le condizioni operative di funzionamento, monitorare la correttezza e l'efficienza funzionale e identificare le parti riutilizzabili al momento della cessione (Bagnoli *et al.*, 2018).

- *Cyber-physical production systems* (CPPS), cioè sistemi di produzione costituiti da più CPS e ulteriori sistemi di archiviazione in grado di condividere dati per auto-monitorarsi, auto-apprendere, autogestirsi e auto-adattarsi.

I sistemi CPPS sono dunque la base per le fabbriche *smart* poiché riguardano il flusso produttivo complessivo intra e inter aziendali. Coi sistemi CPPS diventa possibile condividere, integrare e trasformare in tempo reale tutti i dati contenuti nei diversi sistemi informativi in informazioni e conoscenze funzionali a massimizzare l'eccellenza operativa in termini di produttività, qualità, tempo e sostenibilità (Bechtold *et al.*, 2011).

### 3.1.1 L'Industria 4.0 nel settore *aerospace*

L'Industria 4.0 è guidata da una serie di tecnologie che mirano ad un aumento dell'efficienza, della qualità e della produzione, si fonda come evidenziato nel paragrafo precedente sulla connessione e sulla comunicazione tra sistemi e macchine.

Nella produzione di strutture complesse però, ad esempio nella produzione di componenti nel settore *aerospace*, è difficile applicare le tecnologie *smart* dell'I4.0, questo per le dimensioni del prodotto, per la complessità dei prodotti dati da sequenze complesse di assemblaggio, ordini di lavoro, disegni complessi e per i bassi volumi di produzione che portano ad un allungamento del periodo di ammortamento (Grendel *et al.*, 2017).

Integrare però le tecnologie tipiche dell'I4.0 può senz'altro portare a delle migliorie nelle aziende che operano nel settore *aerospace* perchè:

- i documenti, le specifiche, i disegni o gli ordini di lavoro verrebbero automaticamente aggiornati nel caso in cui venga rilasciata una nuova revisione, questo permette di visualizzare i dati dal database e qualsiasi versione precedente in qualsiasi momento,
- nel caso in cui si verificasse un problema, la causa e/o la soluzione potrebbero essere comunicate in tempo reale, i flussi di lavoro, essendo gestiti su carta, spesso richiedono giorni o addirittura settimane, per essere modificati e ristampati,
- il collegamento con dispositivi connessi permetterebbe di inviare immagini, video e dati posizionali, facilitando la raccolta della documentazione dei processi.

Tuttavia, essendo un settore abbastanza complesso, è necessario superare una serie di vincoli per sfruttare appieno i vantaggi elencati (Grendel *et al.*, 2017).

### 3.1.2 *Digital Transformation*

La trasformazione digitale nelle aziende costituisce uno degli aspetti dell'Industria 4.0, aspetti che riguardano il processo che va dalla materia prima al servizio o prodotto finito. Negli ultimi anni, per ogni settore, la maggior parte delle aziende ha condotto una serie di iniziative legate alle nuove tecnologie digitali per poterne trarre vantaggio, questo, spesso, ha comportato una serie di trasformazioni nei processi, nei prodotti, nelle organizzazioni ma soprattutto nel *business* aziendale [20].

L'approccio migliore per implementare il processo di trasformazione digitale è quello di adottare una strategia consona al tipo di azienda, di organizzazione e di tecnologia considerata (Bharadwaj *et al.*, 2013).

La capacità di immaginare in modo digitale il business aziendale è determinata in gran parte da una chiara strategia digitale supportata dal *management*, questo deve essere in grado di promuovere i nuovi modelli e fare in modo che ogni individuo accolga la nuova *vision* (Kane *et al.*, 2015).

La nuova tecnologia permette non solo il miglioramento dell'efficienza dei processi operativi e decisionali e un ridimensionamento dei costi, ma anche lo sviluppo di nuovi servizi, nuovi prodotti e nuovi modelli di business (Bacchetti e Zanardini, 2017).

Dare una definizione precisa di *digital transformation* (DT), dato che non esiste un concetto universalmente condiviso, è molto difficile, però, con trasformazione digitale, può essere indicato *un programma di cambiamenti che ha l'obiettivo di sfruttare gli strumenti digitali per migliorare il business di tutta l'azienda, e che riguarda persone, processi e tecnologie*. Dunque possono con trasformazione digitale si possono indicare una serie di cambiamenti di natura tecnologica, culturale, organizzativa, sociale, creativa e manageriale che permettono alle aziende di rinnovarsi sfruttando le enormi potenzialità che offre il digitale (Lupi, 2016).

Una possibile definizione di trasformazione digitale potrebbe essere data da *l'uso di nuove tecnologie digitali (social media, dispositivi mobili o dispositivi embedded) per consentire importanti miglioramenti aziendali (come migliorare l'esperienza del cliente, semplificare le operazioni o creare nuovi modelli di business)* (Fitzgerald *et al.*, 2014). L'innovazione riguarda comunque combinazioni di tecnologie informatiche di comunicazione, ciò significa che il processo di trasformazione digitale è accompagnato dall'uso del sistema informativo (Kane *et al.*, 2015).

La trasformazione digitale allora riguarda principalmente il cambiamento organizzativo e strategico di un'azienda, la DT può essere intesa come un fenomeno di tipo *disruptive*, come d'altronde lo è l'Industria 4.0, che sta investendo con rapidità il mercato, costringendo aziende affermate a riformulare in fretta i propri modelli di business e processi aziendali per non rimanere spiazzati da vecchi e nuovi competitor (Lupi, 2016).

Per rendere la trasformazione digitale un successo, è importante conoscere e comprendere quali siano i bisogni e i desideri degli individui e delle organizzazioni. Esistono molteplici ragioni che guidano verso la trasformazione digitale, per cui, comprendere il meccanismo dei processi che devono essere implementati consente alle aziende di organizzarsi in modo da ottimizzare gli obiettivi (Liere-Netheler *et al.*, 2018)

La trasformazione digitale nella produzione colpisce le persone, le unità di business, le imprese e le reti aziendali. Il modo digitale di generare valore è caratterizzato da un'integrazione approfondita di clienti e fornitori (Schwab, 2017).

Le aziende con prodotti tecnologicamente complessi e ambienti altamente regolamentati come l'aerospaziale, il nucleare e la difesa, hanno diversi requisiti che guidano il loro complesso modo di operare. Le aziende di questo tipo richiedono una maggiore collaborazione organizzativa trasversale, processi digitalizzati più snelli, una maggiore visibilità e integrazione tra livelli di gestione e produzione (Gabbai e Jonathan, 2015).

La gestione efficace di questa complessità è un obiettivo chiave per le aerospaziali, il management infatti è alla ricerca continua di soluzioni che possano semplificare i processi aziendali. L'introduzione di flussi di lavoro digitali è un'opportunità per migliorare, automatizzare e ottimizzare i processi in un'azienda (Rojo Abollado *et al.*, 2017).

Per avviare un processo di *digital transformation* in un'azienda è allora fondamentale condurre un'analisi dei processi per migliorarli dove necessario, in modo da avere una visione chiara di ciò che accade per non cadere in errore (Georgakopoulos *et al.*, 1995).

I flussi di lavoro digitali sono una soluzione adatta per gestire la complessità dei processi aziendali nel settore aerospaziale, ma le aziende in questo settore devono essere consapevoli di tutte le sfide associate all'implementazione di nuovi sistemi.

Le aziende aerospaziali sono attratte dai numerosi vantaggi che questa tecnologia può offrire e sono entusiaste di lanciare programmi di trasformazione digitale. Tuttavia, l'implementazione di un sistema di gestione del flusso di lavoro richiede un solido impegno di gestione, coinvolgimento degli utenti finali, strumenti e un piano di attuazione ragionevole (Rojo Abollado *et al.*, 2017).

La *digital transformation* sta apportando delle modifiche sia a livello lavorativo che aziendale e come ogni cosa riserva sia dei vantaggi che degli svantaggi. Tra i benefici dati dal processo di digitalizzazione vi è il miglioramento delle relazioni con i clienti, grazie infatti alla nuova visione si ha la possibilità di potenziare e migliorare il prodotto/servizio. In termini di *operations* invece, si riscontrano miglioramenti legati alla velocità d'azione, avendo tutto a portata di mano, è più facile rendersi conto di quello che non va. Altri benefici sono dati dalla produttività dei dipendenti che aumenta se si integrano al sistema

così da permettere una produzione più efficiente.

Nonostante i numerosi vantaggi della trasformazione digitale, tantissime aziende faticano a trarre vantaggio derivante dalla digitalizzazione. Alcune di queste sono prive di esperienza e spesso non hanno la fortuna di avere un *driver* che sia all'altezza del processo di trasformazione. In altri casi invece, nonostante la leadership aziendale abbia la capacità di guidare, ci si scontra con diverse resistenze.

Convertirsi al digitale dunque implica anche l'impatto con alcuni ostacoli che cambiano da caso a caso a seconda della tipologia di azienda o settore in cui questa opera, perchè oltre alla *leadership* non pronta o alla resistenza interna vi sono altri ostacoli di tipo finanziario, organizzativo in termini di mansioni non attribuite, copertura di ruoli nella *digital transformation*, una cultura aziendale conservatrice o anche un quadro normativo poco chiaro (Harshak *et al*, 2013).

### 3.1.3 Il MES nell'Industria 4.0

Il primo passo per realizzare una situazione di *Industry 4.0* in un'azienda manifatturiera è l'implementazione di un sistema *Manufacturing Execution System* (MES). Il MES è un software che si interfaccia con i sistemi *Enterprise Resource Planning* (ERP), e i sistemi *Product Lifecycle Control* (PLC). Il MES collegato ai due funge da supporto alla gestione della produzione in un'azienda [41].

I MES sono diversi tra di loro, i loro produttori sviluppano i codici a seconda dell'azienda richiedente.

Le funzionalità comuni sono:

- gestione della produzione dal punto di vista della programmazione e della sua pianificazione;
- *monitoring* del sistema produttivo *real time*;
- gestione dell'avanzamento degli *order*;
- possibilità di allocare risorse;
- raccolta dei documenti relativi ai processi di produzione, sia interi che esterni;
- *tracking* dei prodotti, dall'emissione del materiale al prodotto finito;

- gestione e manutenzione delle macchine;
- possibilità di eseguire dei report relativi alla *performance* della produzione.

Il ruolo del software MES è allora quello di raccogliere i dati, dare loro un significato e produrre conoscenza utilizzabile che permetterà di prendere delle decisioni. Grazie alla loro presenza si può intervenire immediatamente ottenendo così una buona efficienza.

Il sistema MES ideale è in grado di far dialogare macchine, materiali e persone, sfruttando le potenzialità di applicativi di ultima generazione e tecnologia web (Almada-Lobo, 2016).

In concreto, i vantaggi derivanti dall'utilizzo di un software MES sono i seguenti:

L'implementazione del MES in un'industria aerospaziale migliora di certo l'efficienza lavorativa tradizionale, la qualità del prodotto e il monitoraggio dei processi dei prodotti in tempo reale, nel Capitolo 4 saranno approfondite le funzionalità del MES in un'azienda aerospaziale.

## 3.2 I nove cluster tecnologici dell'Industria 4.0

La fusione del mondo fisico e virtuale per all'interno dei sistemi Cyber-physical systems e Cyber-physical production systems è resa possibile dall'avvento delle nove tecnologie abilitanti, alcune innovative altre sono semplici miglioramenti di tecnologie già presenti (Bagnoli *et al.*, 2018).

L'industria 4.0 è caratterizzata dunque da alcune tecnologie che hanno guidato la Quarta Rivoluzione Industriale, ne sono state individuate nove (Russman *et al.*, 2015), mentre l'Osservatorio Industria 4.0 del Politecnico di Milano fornisce un'ulteriore classificazione di solo sei tecnologie abilitanti, cosiddette *smart technologies*, raggruppandole in due grandi sotto insiemi di tecnologie digitali innovative, le Information Technologies (IT) e le Operational Technologies (OT) [42].

Il progresso tecnologico in corso sta permettendo la crescita esponenziale di queste in termini di prestazioni e la riduzione dei prezzi favorendo il loro utilizzo in diversi ambiti (World Economic Forum, 2015).

Come anticipato nel paragrafo precedente i punti centrali di Industry 4.0 sono i dati, le informazioni e il modo in cui vengono sfruttati utilizzando le tecnologie digitali

per connettere, innovare e governare l'intera catena del valore nei settori manifatturieri. Con l'Industria 4.0 nasce allora un nuovo paradigma, basato sulla customizzazione e digitalizzazione dei processi.

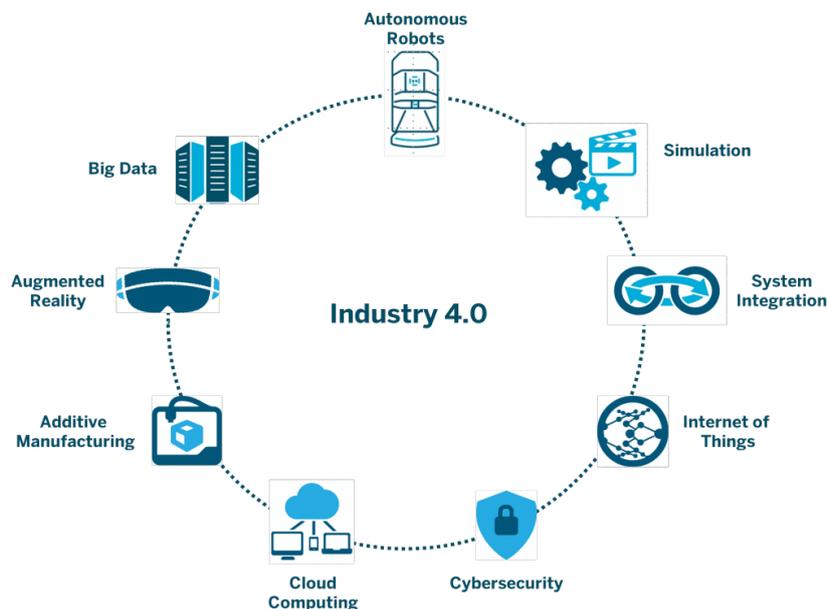


Figura 3.2: Tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 [30]

I 9 pilastri tecnologici di Industria 4.0 possono essere così raggruppati in (Bagnoli *et al.*, 2018):

- **tecnologie software abilitanti**, per raccogliere e trasmettere automaticamente e in tempo reale (*Internet of things industriale*), e immagazzinare (*cloud computing*) in sicurezza (*cyber-security*) grandi quantità di dati rilevanti e a prezzi contenuti in virtù della cosiddetta legge di Moore;
- **tecnologie software fondamentali**, per elaborare (*Big data & analytics*) grandi quantità di dati al fine di trasformarli in informazioni atte a permettere l'automazione dei lavori basati sulla conoscenza, in primis delle decisioni, e dell'apprendimento, anche delle macchine e impianti produttivi (*simulazione*);
- **tecnologie hardware integrative**, per favorire l'interazione in tempo reale tra uomo-macchina (*realtà aumentata*), macchina-macchina (*integrazione orizzontale e verticale dei processi*), e la conversione automatizzata dal digitale al fisico (*manifattura additiva e robot autonomi*).

In linea generale, delle nove individuate dalla Boston Consulting, si può evidenziare come idealmente 4 siano più vicine all'IT, *Horizontal and Vertical Integration, Industrial*

*Internet, Cloud, Big Data and Analytics, Cyber-security*, mentre le altre 5, più eterogenee tra loro, siano vicine al livello operativo, *Additive Manufacturing, Advanced Manufacturing Solutions, Augmented Reality, Simulation* (Wee *et al.*, 2016).

Si descrivono prima le 4 più vicine all'*Information Technologies* (IT) a seguire le 5 più vicine all'*Operational Technologies* (OT).

### 3.2.1 *Big data e data analytics*

*Big Data & Analytics* costituiscono quelle tecnologie che supportano il processo mediante il quale vengono esaminate grandi moli di dati per scoprire pattern nascosti, correlazioni non note, trend di marketing, preferenze dei clienti e altre informazioni utili dell'azienda. La tecnologia è utilizzata per memorizzare, gestire e analizzare dati con una dimensione che va oltre la capacità degli strumenti tradizionali (Lee *et al.*, 2013).

La tecnologia consiste nel trattamento ed elaborazione di grandi moli di dati in ambito manifatturiero e di *Supply Chain Management*. I dati quindi possono provenire da sistemi IoT connessi al layer produttivo (per esempio macchinari sensorizzati e connessi), o dallo scambio tra sistemi IT per la pianificazione e sincronizzazione dei flussi produttivi e logistici. Nei Manufacturing Big Data rientra l'applicazione di nuove tecniche e strumenti di *Data analytics&visualization, Simulation e Forecasting*, per evidenziare l'informazione celata nei dati e il suo uso efficace per supportare decisioni rapide.

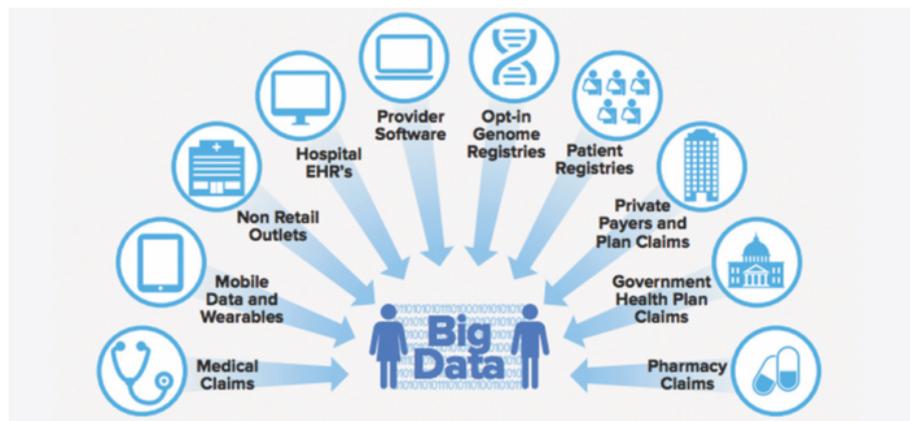


Figura 3.3: *Big data* [31]

L'espressione *Big Data Analysis* fa pensare ad una enorme quantità di dati disponibili, oggi generati dai telefoni, dalle carte di credito, dalla televisione, dai computer, dalle infrastrutture intelligenti delle città, dai sensori montati sugli edifici, sui mezzi di trasporto pubblici e privati, è effettivamente incredibile tanto che tutte le informazioni

accumulate solo nel corso degli ultimi due anni ha superato l'ordine dei ZettaByte, cioè la settima potenza di 1000 (Kaisler *et al.*, 2013).

Peraltro esistono settori dove i dati, per quanto ve ne siano davvero in quantità, non sono resi sempre disponibili ovvero, se pur disponibili, non lo sono per tutti in quanto in molti casi essi non vengono integralmente condivisi.

La vera rivoluzione offerta dai *big data* è data dalla capacità di raccogliere, condividere, selezionare, aggregare tutte le informazioni utili per elaborare, analizzare e trovare soluzioni nuove a vecchie e nuove tematiche tramite algoritmi capaci di trattare tante variabili in poco tempo e con risorse computazionali comunque limitate in relazione alla mole di input.

Così i *big data* acquistano valore nella capacità di collegamento delle informazioni per rendere un approccio visuale ai dati, suggerendo pattern e modelli di interpretazione fino a ora inimmaginabili, utili nei settori e nei business più disparati, dalle automobili, alla medicina, dal commercio all'astronomia, dalla biologia alla chimica farmaceutica, dalla finanza al *gaming*.

I dati oltre ad essere identificati, per essere interpretati, si devono considerare anche criteri di Volume, Velocità, Variabilità e Veridicità.

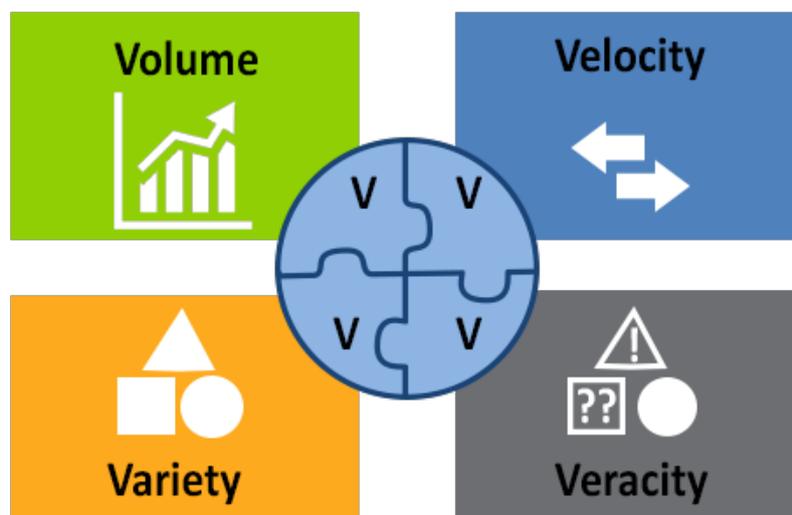


Figura 3.4: *Four V for Big Data* [32]

- Con **Volume** si intende la mole di dati da immagazzinare e successivamente analiz-

zare; il volume di dati generato ogni secondo è enorme e si parla ormai di *Zattabytes* o *Brontobytes*.

I nuovi tools utilizzati nell'ambito del Big Data si basano su sistemi distribuiti per poter gestire enormi quantità di dati.

- Con **Velocità** ci si riferisce alla velocità con cui i nuovi dati vengono generati e la velocità con cui si muovono nella rete. Pensiamo ad esempio ad un messaggio su un social network che diventa virale. La tecnologia Big Data permette di analizzare i dati non appena vengono generati senza nemmeno doverli precedentemente registrare su uno *storage*, questa tecnica è conosciuta come *in-memory analytics*.
- Con **Variabilità** si intende la varietà di dati che si possono analizzare. In passato venivano analizzati esclusivamente dati strutturati che ben si adattavano a tabelle e database relazionali. Al giorno d'oggi la maggior parte dei dati generati sono non strutturati (testi, immagini, video, audio, etc.). La tecnologia Big Data permette la gestione di dati disomogenei.
- Con **Veridicità** si intende la qualità del dato inteso come correttezza e attendibilità. Se pensiamo ad esempio ai dati generati dal social network Twitter i messaggi contengono un elevato numero di errori di battitura, hashtag, abbreviazioni, forme colloquiali, inoltre l'attendibilità di questi dati è tutta da verificare [21].

### 3.2.2 *Cyber-security*

Dalla maggiore connettività nasce il bisogno di proteggere i sistemi industriali e le linee produttive da attacchi informatici. *Cyber-security* è un sinonimo di sicurezza informatica, ovvero di tutte quelle tecnologie utili a proteggere un computer o un insieme di computer (sistema informatico) da attacchi che possono portare alla perdita o compromissione di dati ed informazioni (Peressotti, 2016).

La *cyber-security*, al contrario dell'*information security*, dipende solo dalla tecnologia informatica. Per capire se un sistema informatico è più o meno sicuro bisogna trovare le minacce e vulnerabilità e proteggerli da eventuali attacchi.

Con il termine *cyber-security* si indicano tecnologie, processi, prodotti e standard necessari per proteggere collegamenti, dispositivi e dati, da accessi non autorizzati, garantendone la necessaria privacy e sicurezza durante le operazioni in rete e su sistemi aperti. I dati mostrano che, attacchi e le minacce informatiche continuano a colpire un gran numero di aziende manifatturiere, per contro queste ultime, stanno mostrando una

crescente attenzione al tema della sicurezza, investendo in tecnologie e team interni dedicati alla cyber-security (Bagnoli *et al.*, 2018).

Industria 4.0 implica innovazione di processo, di prodotto, di servizi, di gestione, con impatti significativi sugli impianti, sui prodotti, sulle informazioni e ovviamente sulle persone. Tutto questo sarà incentrato e reso possibile grazie alla pervasività delle tecnologie ICT e a quello che è ormai comunemente chiamato il *cyberspazio* definito come *la cosa più complessa e articolata che l'uomo abbia mai concepito* [33].

I rischi delle *cyber security* sono però i seguenti:

- le nuove tecnologie e, in particolare IoT, hanno già di fatto incrementato a dismisura e incrementeranno sempre di più quella che gli esperti chiamano la superficie attacco, vale a dire le opportunità di sferrare attacchi malevoli e devastanti da parte di cyber criminali.  
È importante notare come, dal punto di vista aziendale, i rischi siano di diverso tipo, innanzitutto *il tutto connesso, sempre* significa, in pratica, più porte e più finestre verso il mondo esterno. La conseguenza diretta è un significativo aumento del rischio che gli attaccanti riescano, a costi ridotti, a sottrarre informazioni, dati e *know-how* fondamentali per le aziende.
- i sistemi informativi e soprattutto i prodotti, se non adeguatamente progettati e protetti, possono essere utilizzati dagli *hackers* per sferrare attacchi devastanti verso altri, questo rischio è meno evidente ma altrettanto reale e con effetti potenzialmente devastanti. Per molte aziende questo rischio potrebbe portare alla fine.
- il terzo rischio della cyber security è la mancanza di sensibilità al problema della sicurezza cyber. Come insegna la *Social Engineering*, la componente umana, il cosiddetto *Man-in-the-middle* è l'anello debole della catena e una delle porte di accesso più facili e meno costose da utilizzare da parte di un attaccante malevolo [33].

Un modo adeguato è adottare criteri di protezione by design o security-by-design consiste nel progettare il sistema, l'impianto e l'infrastruttura tenendo presenti le questioni rilevanti per la cyber-security, mettendo al primo posto una attenta analisi e valutazione del rischio. Questo consente di concentrare gli sforzi nei punti in cui si riterranno più efficaci ed urgenti le contromisure e gli interventi. E soprattutto rivisitare periodicamente le scelte fatte.



Figura 3.5: *Cyber-security* [8]

Un ulteriore intervento è il monitoraggio della sicurezza, integrando e correlando le fonti di informazioni dei mondi IT e OT, per essere costantemente a conoscenza dello stato dei propri asset e per individuare e mettere in campo le giuste azioni a fronte di un attacco. È ormai dimostrato ampiamente come la capacità di reagire tempestivamente a una violazione possa minimizzarne in modo significativo le conseguenze [34].

### 3.2.3 *Horizontal & Vertical system integration*

L'integrazione dei sistemi verticale e orizzontale costituisce un'altra tecnologia della quarta rivoluzione industriale, l'I4.0 richiede infatti una maggiore integrazione dei processi lungo la catena del valore (Mrugalska e Wyrwicka, 2017).

Integrare i sistemi è un passo fondamentale verso l'Industry 4.0 e il raggiungimento dei suoi obiettivi, i sistemi vengono analizzati nel loro insieme, considerando il loro flusso produttivo (Schlechtendahl *et al.*, 2014).

Quando si parla di integrazione in ambito 4.0 ci si riferisce all'adozione di specifici sistemi informativi in grado di interagire con fornitori e clienti, per scambiarsi informazioni (Integrazione Verticale), oppure in grado di interagire con aziende operanti nella stessa filiera anche se apparentemente concorrenti (Integrazione Orizzontale) [20].

Si intende dunque l'integrazione dei dati e dei sistemi lungo la *value chain*, in modo che i vari reparti e le varie funzioni facciano parte di un unico e grande sistema integrato (Peressotti, 2016).

L'integrazione orizzontale, nello specifico, fa riferimento alla rete che crea valore, cioè l'intera organizzazione; mentre la verticale, invece, coinvolge i partner chiave della *value chain*. L'integrazione verticale di sottosistemi gerarchici porta alla creazione della fabbrica intelligente, la quale a sua volta supporta l'integrazione orizzontale attraverso reti di valore (Wang *et al.*, 2016).

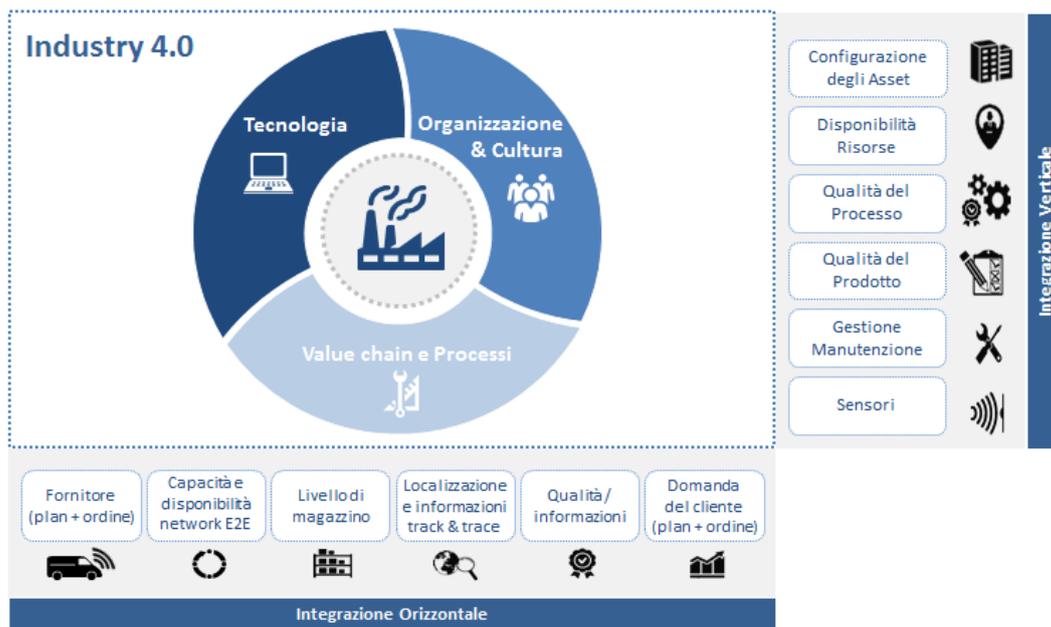


Figura 3.6: Struttura dell'Integrazione Verticale ed Orizzontale [35]

Con l'*integrated industry* tutti i reparti hanno la possibilità di accedere ai dati logistici e di produzione, attraverso la condivisione di dati e di conoscenza, rende il sistema più funzionale e capace, in ogni sua singola fase, di creare valore aggiunto (Silva Correia, 2014). Inoltre, i dati vengono trasferiti in modo efficiente senza il rischio di perdere informazioni (Wee *et al.*, 2015).

Con l'*horizontal integration* inoltre si intensifica il rapporto coi clienti e i fornitori, coi primi perchè interagiscono maggiormente con l'azienda migliorando così la loro *satisfaction*, coi secondi perchè legati da una rete di condivisione informatizzata, riescono, in tempo reale, ad essere avvisati della necessità di approvvigionamento di una materia prima (PWC, 2014).

### 3.2.4 Cloud

La quantità maggiore di dati non può essere gestita mediante server tradizionali, così, per evitare costi di *overprovisioning*, si ricorre al *cloud computing*.

Il *Cloud* è una tecnologia che consente di raccogliere, elaborare, immagazzinare dati senza rischiare di sovraccaricare il server.

Possiamo definire questa come una tecnologia che consente di usufruire, tramite server remoto, di risorse software e hardware, il cui utilizzo è offerto come servizio da un provider, quasi sempre in abbonamento. Il cloud computing è quindi un sistema per erogare potenza di elaborazione, archiviazione (*storage*), database, applicazioni e altre risorse IT on demand tramite una piattaforma di servizi cloud via Internet con tariffe a consumo [32].

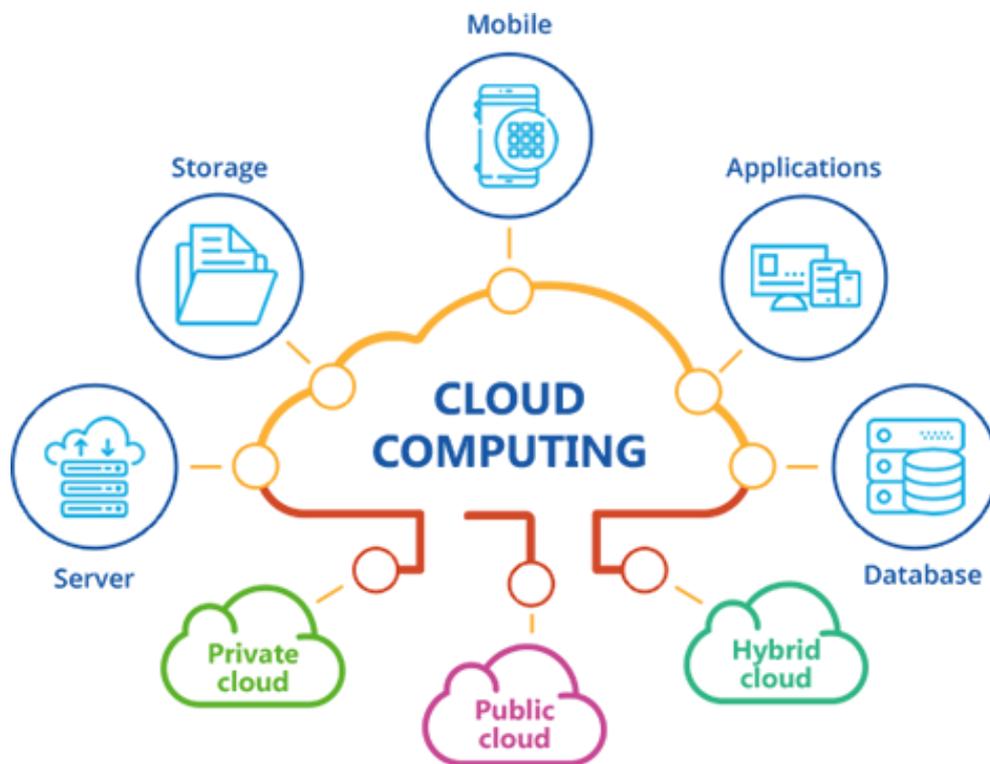


Figura 3.7: *Cloud-computing*[30]

Il cloud computing può essere fornito secondo diverse tipologie, in base alle esigenze e alle possibilità dell'azienda o della PMI che richiedono il servizio. I modelli di cloud computing offerti alle imprese che operano nell'Industria 4.0 sono fondamentalmente tre: *Infrastructure as a Service* (IaaS), *Platform as a Service* (PaaS) e *Software as a Service* (SaaS): (Marston *et al.*, 2011)

1. Il primo modello, come detto, è definito **IaaS** (Infrastructure as a Service). Si tratta di una delle soluzioni più popolari al momento tra le PMI. In questo caso la risorsa fornita è specificamente un hardware virtualizzato. Questo modello include uno spazio virtuale su server, delle connessioni di rete, una larghezza di banda, indirizzi IP e bilanciatori di carico. Fisicamente, il gruppo di risorse hardware viene estratto da una moltitudine di server solitamente distribuiti presso numerosi Data Centre. La manutenzione è responsabilità del provider del cloud. Il cliente, invece, ha accesso ai componenti virtualizzati per costruire le proprie piattaforme IT.
2. La **PaaS** (Platform as a Service), invece, fornisce agli sviluppatori una piattaforma per costruire applicazioni e servizi su Internet. I servizi PaaS vengono ospitati su cloud e gli utenti vi accedono con facilità tramite il proprio browser web.
3. L'ultimo modello è invece il **SaaS** (Software as a Service), servizio cloud con il quale i consumatori possono accedere ad applicazioni software tramite Internet. In pratica è un servizio a noleggio più che in abbonamento.

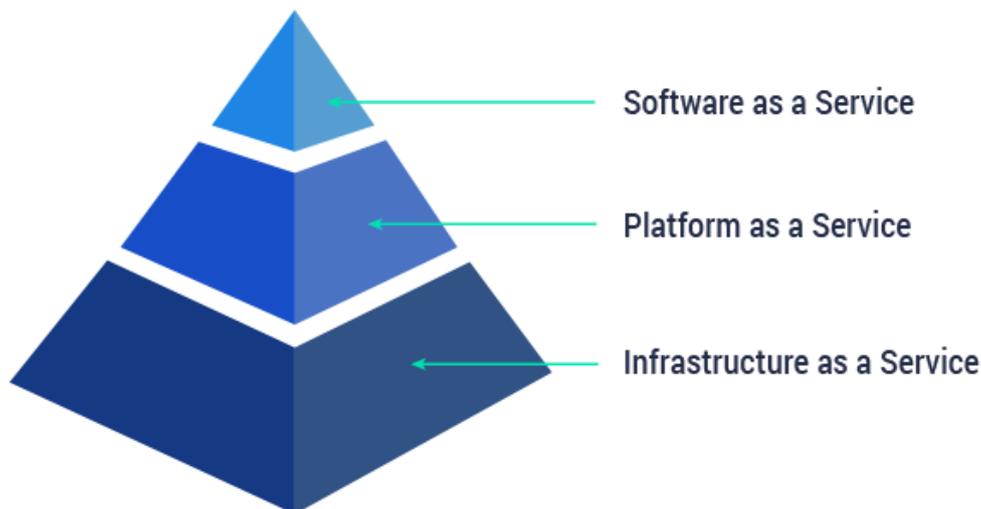


Figura 3.8: La piramide del *Cloud* [30]

In sintesi sono sei i principali vantaggi offerti dal cloud computing:

1. Costi variabili anziché investimenti in conto capitale, invece di effettuare notevoli investimenti in data center e server, è possibile pagare solo l'utilizzo delle risorse di elaborazione necessarie e per la quantità effettivamente utilizzata;

2. Economie di scala elevate, con il cloud computing, è possibile sostenere un costo variabile inferiore rispetto a quello richiesto per la gestione di una infrastruttura locale. Poiché l'utilizzo delle risorse da parte di numerosi clienti è concentrato nel cloud, i provider possono ottenere economie di scala maggiori. Tutto questo si traduce in tariffe al consumo inferiori.
3. Niente più studi e programmi sulle risorse necessarie, non occorre formulare ipotesi sui requisiti di capacità della infrastruttura IT. Con il cloud computing, questi problemi vengono risolti a monte. È possibile accedere esattamente alle risorse necessarie, aumentando e diminuendo la capacità praticamente in tempo reale.
4. Aumento di velocità e agilità, in un ambiente di cloud computing, le nuove risorse IT sono a portata di clic. Il tempo necessario per rendere disponibili tali risorse agli sviluppatori è infatti notevolmente ridotto e questo ha un effetto molto positivo sull'agilità dell'organizzazione poiché tempi e costi per le varie attività diminuiscono significativamente.
5. Niente costi di gestione e manutenzione di data center, tutta l'attenzione può essere concentrata sui progetti strategici dell'azienda e non più sull'infrastruttura. Il cloud computing offre infatti l'opportunità di dedicarsi al core-business anziché alla gestione dei dispositivi hardware e al funzionamento dei server.
6. Disponibilità globale, è possibile implementare con facilità un'applicazione in più aree geografiche con pochi semplici clic. I clienti possono usufruire di una latenza più bassa e di una migliore esperienza di elaborazione, semplice e a costi limitati.

Come detto oltre ai vari servizi esistono differenti tipi di cloud computing: (Marston *et al*, 2011)

1. **cloud privato**, si basa su un'infrastruttura informatica interna autogestita o esterna, di terze parti, che prevede un unico spazio *cloud* distinto e sicuro su cui può operare solo un utente specifico. Questa tipologia, essendo accessibile ad una sola organizzazione, garantisce maggiore controllo e privacy;
2. **cloud pubblico**, a differenza del privato, è offerto da un *service* provider che fornisce servizi a molteplici clienti tramite un'unica infrastruttura condivisa; il servizio offerto si basa su un modello di pagamento *pay-per-use*;
3. **cloud ibrido**, è l'unione dei due precedenti modelli già descritti, in cui tipicamente, le informazioni non critiche sono gestite dal *cloud* pubblico; mentre, i servizi e i dati sensibili sono sotto il controllo. del cloud privato

Per concludere, questa tecnologia ha prestazioni sempre elevate e, soprattutto, consente di aumentare gli aspetti legati alla sicurezza in quanto, grazie ai backup continui, è possibile recuperare i propri dati in seguito ad eventi accidentali oppure avere elevate protezioni contro attacchi hacker.

### 3.2.5 *Internet of Things*

Il termine *Internet of Things* è utilizzato per la prima volta da un inglese, Kevin Ashton, un ricercatore del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), che ha immaginato un sistema nel mondo in cui una serie di oggetti *smart* scambiano informazioni raccolte attraverso sensori mediante servizi offerti dal *network*.

L'*Internet of Things* rappresenta dunque un altro pilastro tecnologico dell'Industria 4.0, con l'espressione IoT si descrive una situazione per cui ogni oggetto che usiamo ogni giorno può diventare intelligente.

Le *Thing*, oggetti o cose, sono i sensori, gli attuatori, i moduli di comunicazione e i dispositivi che comunicano tra loro e per mezzo delle loro componenti intelligenti trasmettono ed elaborano informazioni.

Ogni oggetto, come un CPS (*cyber physical system*) è identificato da un indirizzo o da un'etichetta e per mezzo della rete vengono trasmessi dati a server remoti o altri *devices*.

La tipologia di connessione dipende dall'hardware che lo definisce e dall'ambiente in cui opera, le tipologie sono le seguenti:

- **One to one**, è un tipo di relazione più semplice che un dispositivo IoT possa avere, secondo una relazione di questo tipo il dispositivo comunica con un secondo *device* in modo univoco;
- **One to Many**, è un tipo di relazione più complessa (ma anche molto più comune) è di tipo uno-a-molti / molti-a-uno, secondo questa relazione si ha una trasmissione dati più su larga scala nella quale c'è un centro che instruisce molti sensori riceventi, sulla base di informazioni che a sua volta aveva ricevuto da essi, ed elaborato in precedenza;
- **Many to Many**, è la forma più complessa di Internet of Thing in cui si ha una relazione di tipo molti a molti, qui milioni di sensori comunicano con milioni di



### 3.2.6 *Advanced Manufacturing Solutions*

Per *Advanced Manufacturing Solution* si intende una serie di sistemi di produzione, interconnessi che determinano una maggiore flessibilità, autonomia e collaborazione sia tra loro sia con gli umani, dando così origine a robot autonomi con capacità cognitive avanzate.

Le tecnologie di cooperazione tra uomo e robot consentono e consentiranno sempre più di ridurre le distanze nell'ambiente di lavoro rendendo la fabbrica tradizionale un ambiente più dinamico e flessibile, inoltre, con la partecipazione diretta dell'uomo nel ciclo di lavorazione, daranno più valore aggiunto eliminando i vincoli che ponevano un'alternativa tra sistemi automatici e manuali [11].

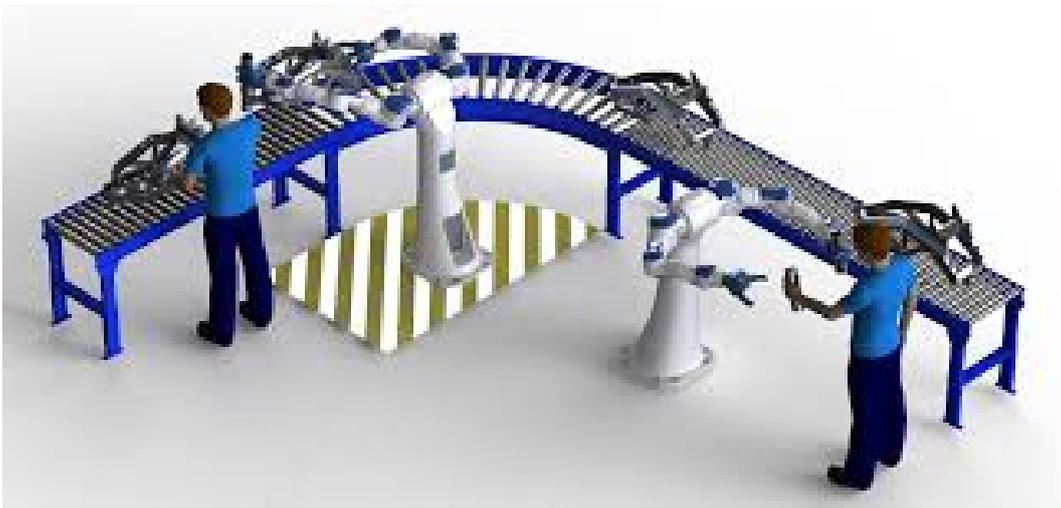


Figura 3.10: Esempio di robotica collaborativa [30]

Alla base delle tecnologie di interazione, la cooperazione tra robot e uomo si colloca a vari livelli:

1. **Fisica**, *physical Human-Robot Interaction*, quando avviene scambio diretto tra uomo e robot, ad esempio nella manipolazione congiunta, nella guida manuale lungo traiettorie memorizzate e ripetute automaticamente o nel bloccare il moto per interventi d'emergenza o intenzionalmente;
2. **Funzionale**, quando si alternano attività tra operatore umano e robot in serie o in parallelo, lo scopo è quello di raggiungere la massima efficacia.

3. **Cognitiva**, quando l'organizzazione dei processi condivisi prevede un certo grado di interpretazione del contesto, si agisce sia a livello del dispositivo mediante sensori ma anche al livello di sistema.

I diversi livelli di cooperazione determinano un sistema di capacità sensoriali, motorie e cognitivo-funzionali tali da creare un'insieme di agenti misti, umani e robotici, la cui flessibilità di allocazione di attività, comportamenti e compiti sarà molto elevata.

L'*Advanced Manufacturing Solution* renderà più flessibili ed efficaci i sistemi di produzione aumentando la competitività delle imprese manifatturiere. La flessibilità è data dalla partecipazione dell'uomo nel ciclo mentre l'efficacia dalla gestione di produzione che risponde in modo dinamico [11].

### 3.2.7 *Additive Manufacturing*

L'*Additive Manufacturing*, nota come Stampa 3D, è una reale rivoluzione rispetto ai processi produttivi tradizionali caratterizzati da asportazione o deformazione plastica di materiale, poiché permette di stampare un oggetto, generato prima digitalmente, strato dopo strato.

La tecnologia è stata introdotta nel 1981 quando Hideo Kodama registra il brevetto della prototipazione rapida cui segue nel 1984 l'invenzione della stereolitografia (SLA) da parte di Charles Hull.

Negli ultimi anni continua ad evolvere in modo esponenziale perchè sta aumentando il numero dei processi tecnologici di base e dei materiali trattabili con buone prestazioni di finitura e resistenza meccanica.

Il processo si articola fondamentalmente in tre fasi:

1. **Modellazione**, in cui si genera su un software di tipo CAD (*Computer Aided Design*) il profilo dell'oggetto interessato;
2. **Slicing**, si suddivide il modello caricato sul software in base alla tipologia di stampa scelta;
3. **Stampa**, in cui si genera il prodotto attraverso estrusione, fotopolimerizzazione, tecnologie granulari o laminazione.

Esistono diverse metodologie di stampa ed ognuna di queste presenta sia dei vantaggi che degli svantaggi, per cui, per scegliere il metodo ottimale deve essere eseguita un'analisi delle differenti tecnologie (Pwc, 2015).

L'Additive Manufacturing trova applicazione negli ambiti di:

- *Prototyping*, a supporto del processo di sviluppo prodotto, simulazione statica e in galleria del vento;
- *Manufacturing*, realizzazione diretta di prodotti vendibili;
- *Maintenance&Repair*, riparazione in modo additivo di particolari usurati o danneggiati;
- *Tooling*, realizzazione di stampi, gusci, conchiglie per stampaggi e formature.

L'*Additive Manufacturing* dà allora la possibilità di passare da un'idea formalizzata in modo digitale, direttamente al prodotto senza dover necessariamente passare per lavorazioni intermedie, aprendo così lo spazio a nuovi modelli di business dove è possibile realizzare pezzi *on-demand*.

Dall'altro canto dà l'opportunità di svincolarsi dai limiti delle lavorazioni tradizionali, tecniche che non possono realizzare le forme senza sottostare a dei vincoli di tipo geometrico connessi alla modalità per asportazione di materiale.

Tra i benefici allora dell'*Additive Manufacturing* vi sono:

- Riduzione dei tempi di prototipazione, produzione, time to test e time to market;
- Realizzazione di forme e geometrie non possibili con tecnologie tradizionali;
- Realizzazione direttamente prodotti finiti senza operazioni di finitura;
- Vendita del modello 3D invece del prodotto fisico;
- Riduzione del materiale di scarto/materia prima in input;
- Riduzione dei consumi, processo additivo meno energico rispetto alle tecniche tradizionali;
- Riduzione consequenziale dei costi;
- Personalizzazione e/o customizzazione.

Le differenze principali tra le diverse tecnologie riguardano i materiali lavorabili (polimerici, metallici e sabbia) e il processo di formazione degli strati. L'incrocio di queste due variabili permette di identificare le differenti tecniche di stampa.

Tra le tecniche più utilizzate vi sono:

- **Stereolitografia**, è la più vecchia tecnica di prototipazione rapida, ma è tutt'oggi molto utilizzata, in quanto permette di ottenere particolari con un ottimo dettaglio superficiale. All'interno della macchina sono presenti un laser, una vasca con la resina da solidificare e una racla per la rimozione della resina in eccesso.

Il laser solidifica la resina in funzione della sezione del pezzo da realizzare, si abbassa la piattaforma sulla quale è vincolato il pezzo in costruzione, la racla elimina la resina in eccesso e si riparte con una successiva sezione da solidificare. Questo procedimento viene ripetuto fino a pezzo ultimato [17].

- **Selective Laser Sintering**, Nel processo SLS, particelle microscopiche di plastica (polveri di nylon) sono esposte ad un laser di elevata potenza che le fonde insieme per formare un oggetto solido tridimensionale. La polvere viene inizialmente rilasciata su una piattaforma, per creare uno strato di circa 0,1 mm., che viene poi colpita dal laser che la fonde in uno strato compatto. Le polveri non sinterizzate sul piano costituiscono il supporto per gli strati successivi, fino alla realizzazione dell'oggetto completo.

Al termine della lavorazione l'oggetto viene rimosso e separato dalle polveri non sinterizzate, che in parte o totalmente possono essere riutilizzate [17].

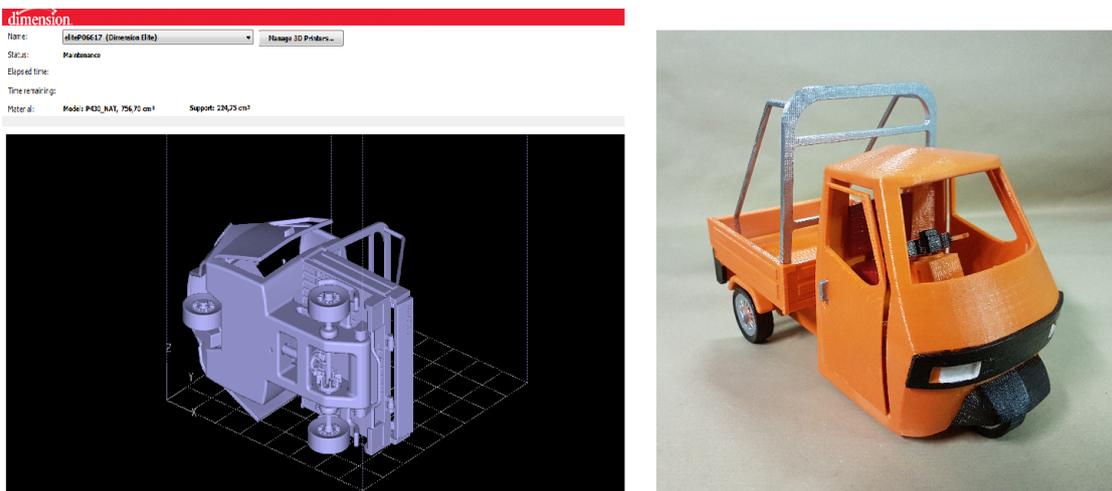


Figura 3.11: Progetto realizzato con tecnica FDM, Politecnico di Torino

- **Fused Deposit Modeling**, un filamento plastico passa attraverso un estrusore che, portato ad alta temperatura, rende il materiale fluido; questo viene poi depositato

sul piatto di stampa secondo uno schema di linee che costituiscono gli strati (*layer*) che vengono sovrapposti ai precedenti.

Con questa tecnica, utilizzando se necessario strutture di supporto, possono essere realizzati oggetti con qualsiasi geometria e una precisione estremamente accurata [17].

- **Electron Beam Melting**, è un processo di fusione a fascio di elettroni che permette di produrre degli oggetti in metallo complessi e estremamente resistenti. Le parti metalliche stampate in 3D con questa tecnologia infatti sono robuste tanto quanto quelle prodotte con le tecniche tradizionali.

Sono queste le due caratteristiche che hanno convinto l'industria aeronautica, biomedica e dello sport automobilistico, di farne uso [18].

### 3.2.8 *Augmented Reality*

La realtà aumentata permette l'arricchimento della percezione sensoriale umana mediante l'aggiunta di informazioni elaborate e trasmesse a un *device* dell'utente (tablet, visiere, auricolari, guanti). L'espressione indica i recenti sviluppi nei dispositivi *wearable* e nelle nuove interfacce uomo/macchina, per l'acquisizione e/o veicolazione di informazioni in formato vocale, visuale e tattile. L'Advanced HMI include sistemi ormai consolidati (Azuma, 1997).

La realtà aumentata permette di interagire tramite strumenti sofisticati con l'ambiente esterno, mentre la realtà virtuale sfrutta elementi già presenti nell'ambiente e l'interazione per ottenere una conoscenza più approfondita e specifica di determinati elementi, la realtà virtuale crea allora un ambiente totalmente artificiale, costruito al computer, e lo rende credibile avvalendosi di tecnologie che danno la sensazione a chi le utilizza di trovarsi realmente immerso in quello scenario.

Al contrario della realtà virtuale dunque, dove l'utente è immerso totalmente in un ambiente, nella realtà aumentata si continua a vivere la realtà fisica con l'aggiunta di informazioni anche manipolate della realtà stessa.



Figura 3.12: Esempio di realtà aumentata [30]

La realtà aumentata parte allora da quello che esiste attorno, che esiste già, però viene modificato con l'aggiunta di animazioni e contenuti digitali che consentono di avere una conoscenza più approfondita dell'ambiente che ci circonda.

La realtà aumentata permette quindi di incrementare e migliorare, tramite l'interazione uomo-tecnologia, una serie di azioni che vengono regolarmente svolte ogni giorno. Bisogna sottolineare che la realtà aumentata garantisce un'arricchimento delle percezioni grazie a elaborazioni digitali, ossia software, che consentono di ottenere informazioni che non possono altrimenti essere ottenute se si fa uso solo dei classici cinque sensi.

A seconda del tipo di tecnologia che si utilizza, quindi, si potrà migliorare la conoscenza tramite una visualizzazione più accurata e dettagliata dell'ambiente, incrementare le percezioni dei suoni o ancora comandare a distanza strumenti tecnologici come smartphone, tablet o altro.

Tra le applicazioni dell'*Augmented Reality* vi sono:

- Logistica, aiutando a localizzare prodotti in magazzino;
- Manutenzione, permettono di individuare guasti facilmente;
- Controllo macchine, attraverso tablet si possono visualizzare parametri di funzionamento di un impianto;
- Marketing, da la possibilità di testare in anteprima aspetti estetico-funzionali dei vari prodotti.

Il dispositivo AR di cui si è parlato maggiormente nel corso degli ultimi anni è senza alcun dubbio *Google Glass*. Progettato dal team X Lab del motore di ricerca, è essenzialmente un occhiale da indossare, che visualizza informazioni e dati all'interno del campo visivo, mediante l'impiego di un piccolo display posizionato sopra l'occhio dell'utente.

Quando si parla di realtà aumentata si deve necessariamente parlare anche di intelligenza artificiale. Infatti la prima, oltre a proporre un'interazione sempre maggiore tra uomo e macchina, fa sempre più uso di strumenti che posseggono un'Intelligenza Artificiale rendendo queste due forme di tecnologia sempre più connesse tra loro.

Il celebre economista americano Michael Porter ha messo in evidenza come queste due forme di tecnologia sono destinate a diventare velocemente di uso comune nella vita di tutti, sia per quanto riguarda l'aspetto lavorativo che quello privato. Se da un lato, tuttavia, l'Intelligenza Artificiale e le Reti Neurali già presentano un gran numero di applicazioni in molti campi, da quello medico a quello azionario, fino a quello della robotica, la Realtà Aumentata è ancora in una fase embrionale, di sperimentazioni [19].

### **3.2.9 *Simulation modelling***

Per simulazione si intende l'utilizzo di modelli di un sistema reale o immaginario relativo ad un processo per comprendere meglio e/o prevedere il comportamento in caso di modellazione, per compiere ciò, viene costruito un modello fisico o matematico.

Oggi l'uso della simulazione nella scienza e nell'ingegneria è ben consolidato. In ingegneria, la *Simulation modelling* aiuta a ridurre i costi, riduce i tempi di sviluppo, aumenta la qualità dei prodotti e facilita enormemente la gestione delle informazioni (Rodi, 2017).

La posizione delle piccole e medie imprese (PMI) nell'Industria 4.0 è particolarmente preoccupante, in quanto il livello di automazione nelle PMI è generalmente basso e i loro fondi sono limitati. L'Industria 4.0 presenta diverse sfide e opportunità per le PMI, queste, adattandosi alle tecnologie dell'Industria 4.0, potranno ridurre drasticamente gli sforzi di gestione della produzione e rispondere alle richieste del mercato in modo significativamente più rapido, la *simulation modelling* rappresenta per queste un trampolino di lancio verso l'innovazione ad un costo contenuto (GTAI, 2016).

Oggi i modelli di simulazione vengono applicati nelle fasi di progettazione ottimizzando la produttività, garantendo la qualità del prodotto, la riduzione degli scarti e i tempi

di esecuzione (Kagermann *et al.*, 2013).

L'*Industry 4.0* combinata con la digitalizzazione di sistemi e impianti industriali, con la disponibilità di dati e sistemi *cloud*, le tecniche di intelligenza artificiale, sta abilitando nuovi modi di simulazione in grado di lavorare in tempo reale e permettere analisi predittive del comportamento di sistemi, macchine e impianti.

In modo particolare simulare il prodotto oggi significa [20]:

- la possibilità di individuare in modo più veloce ed efficiente eventuali difetti di progettazione e risolverli,
- Valutare un maggior numero di alternative in maniera efficace e veloce.
- Ridurre i costi di sviluppo.
- Ottimizzare i progetti e garantire la conformità con le specifiche.
- Esplorare nuove possibilità per i progetti senza i rischi di una prototipazione.

Le principali tecnologie di simulazioni sono classificate secondo:

### Tecnologie di simulazione a supporto delle decisioni

Le *Decision Support System* (DSS), cioè sistemi informativi fondati su modelli matematici, analitici e statistici senza entrare nei meandri del sistema stesso.

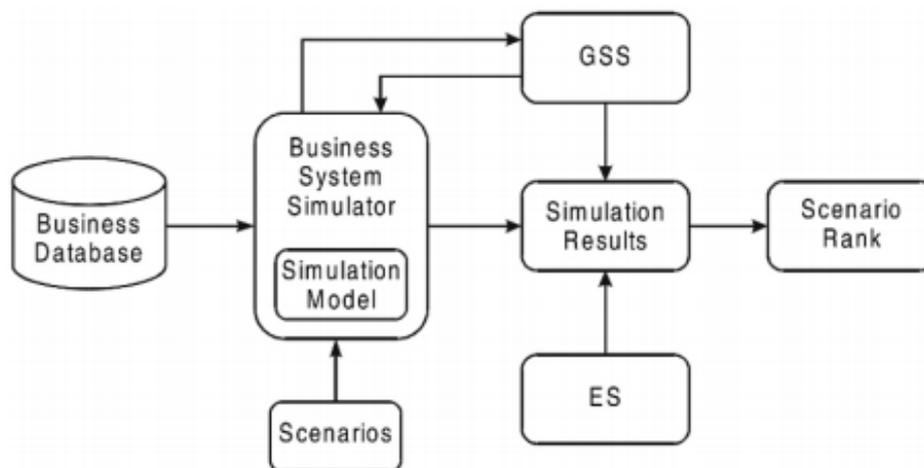


Figura 3.13: Schema di un sistema DSS (Kljajic e Bernik, 2000)

Un esempio di DSS è il *Deep Learning* cioè quella branca dell'Intelligenza Artificiale che fa riferimento agli algoritmi ispirati alla struttura e alla funzione del cervello chiamate reti neurali artificiali. Il modello è una sorta di *black box* che connette ingresso e uscita senza studiare i fenomeni fisici che avvengono dentro [20].

### **Tecnologie di simulazione a supporto della progettazione e ingegnerizzazione dei prodotti**

Qui vengono raggruppati gli strumenti utilizzati nei settori in cui si progetta per verificare il comportamento di un prodotto [20].

Le principali tecnologie possono essere così riassunte:

- MBS Simulation (Modellazione MultiCorpo o Multibody simulation)
- BEM Simulation (Modellazione degli elementi al contorno)
- SEA Simulation (Statistical energy analysis)
- CFD Simulation (Analisi fluidodinamiche numeriche)
- FEM Simulation (Finite Element Method)

### **Tecnologie di simulazione a supporto dell'analisi dei processi dell'industria manifatturiera e di processo**

Anche i processi hanno strumenti di simulazione che permettono l'implementazione dei prodotti nel modo corretto.

Tra le principali tecnologie vi sono:

- CAM (Computer Aided Manufacturing)
- CAPP (Computer Aided Process Planning)
- Virtual Commissioning

### 3.3 Benefici dati dall'Industria 4.0

Se applicate allora le tecnologie abilitanti, l'Industria 4.0 apporta le seguenti modifiche (Beltrametti *et al.*, 2017):

- Maggiore flessibilità nella produzione, grazie all'automazione dei processi di produzione, si possono generare prodotti diversi nello stesso impianto di produzione;
- Personalizzazione, la configurazione rapida delle macchine consentirà la produzione di piccoli lotti, a seconda delle specifiche fornite dal cliente;
- L'incremento della velocità di produzione, la progettazione digitale e la modellazione virtuale dei processi di produzione possono ridurre il *time to market*, cioè il tempo tra la progettazione di un prodotto e la sua consegna;
- Incremento della qualità del prodotto, i dati possono essere utilizzati per monitorare ogni pezzo prodotto anziché utilizzare il campionamento per rilevare gli errori e le macchine che correggono gli errori possono regolare i processi di produzione in tempo reale, l'aumento della qualità gioca un ruolo importante nella riduzione dei costi e quindi nell'aumento della competitività;
- Incremento della produttività, utilizzando analisi avanzate di manutenzione, le aziende manifatturiere possono evitare guasti alle macchine in fabbrica e ridurre i tempi di fermo e aumentare la produzione;
- Maggiore coinvolgimento dei clienti nel processo di progettazione, l'ubicazione di alcune operazioni di produzione può anche essere vicina al cliente: se la produzione è ampiamente automatizzata, non è necessario essere *off-shored* o localizzata in paesi lontani a bassa manodopera (ma costi elevati), le compagnie europee potrebbero decidere di riportare in Europa alcune capacità produttive (riporto) o di stabilire nuovi impianti in Europa anziché all'estero;
- Cambiamenti nei modelli di business, piuttosto che competere esclusivamente sui costi, le aziende europee possono competere sulla base dell'innovazione (la capacità di fornire rapidamente un nuovo prodotto), sulla capacità di produrre progetti personalizzati guidati dai clienti (attraverso fabbriche configurabili) o su qualità (la riduzione dei difetti dovuti all'automazione e al controllo). Alcune aziende possono sfruttare i dati creati con la creazione e l'utilizzo di prodotti intelligenti e adottare modelli di business basati sulla vendita di servizi e non di prodotti.

Una fabbrica allora che abbraccia le precedenti tecnologie abilitanti rientra allora nella categoria di azienda tipo *Smart*.

# Capitolo 4

## Solumina G8

L'introduzione del software Solumina fa parte dei progetti legati al miglioramento aziendale, l'implementazione mira a rendere più digitale l'azienda e a ridurre gli scarti di produzione. Il progetto comporta un lavoro complesso che coinvolge diversi settori aziendali ma che darà in seguito dei benefici a lungo termine.

Solumina è progettato per le aziende che producono e forniscono prodotti complessi e che sono soggetti a frequenti modifiche tecniche, per ciò la *Collins Aerospace* ha deciso di introdurre il software nelle varie sedi scegliendo il gruppo *Collins Italy* e quindi Torino come sede da cui partire.

### 4.1 Introduzione

Solumina G8 nasce principalmente come *Manufacturing Execution System* (MES), una tipologia di software che migliora radicalmente la produttività, la qualità e la conformità della produzione offrendo agli operatori, ai supervisori e ad ogni responsabile degli impianti, visibilità totale. Fornisce infatti informazioni che aiutano i responsabili delle decisioni della produzione a capire in che modo le condizioni attuali dell'impianto possono essere ottimizzate per migliorare la produzione.

Il software offre una serie di soluzioni che semplificano la gestione della produzione, tra queste un'interfaccia grafica facile da usare e l'integrazione con la filosofia *lean*.

Solumina inoltre, non si limita a funzionare solo come MES, ma nasce come sistema integrato tra il *Maintenance, Repair and Overhaul* (MRO), l'*Enterprise Quality Management Systems* (EQMS) e il *Supplier Quality Management* (SQM) lungo la catena del

valore (iBaset, 2018).

Le tecnologie MES sono di tipo *Information and Communication Technologies* (ICT) e sono in grado di ricoprire un ruolo strategico all'interno di un'azienda, perchè sono in grado di raccogliere, standardizzare, organizzare, condividere e integrare le informazioni provenienti dal campo che normalmente accantonate perchè spesso cartacee, poco precise e/o conservate in sistemi di supervisione e automazione isolati fra loro [46].

Solumina dunque nasce come software che sta a metà tra un sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) a livello decisionale, un *Product Lifecycle Management* (PLM) a livello operativo e un sistema *Computer Aided Design* (CAD) (Figura 4.1).

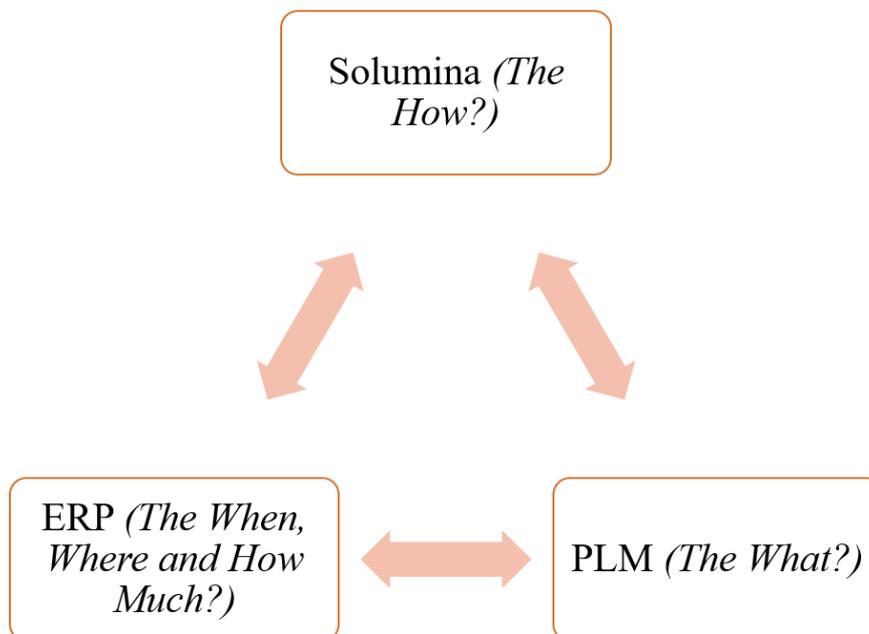


Figura 4.1: Relazione ERP-MES-PLM

Un sistema ERP allora, è un sistema integrato per la gestione che integra i processi di business rilevanti di un'azienda (vendite, acquisti, gestione magazzino, contabilità) mentre un MES è un sistema che fornisce informazioni in tempo reale che consentono

la gestione, il controllo e l'ottimizzazione delle operazioni, ovvero tutte le attività del processo produttivo, dal rilascio dell'ordine fino al prodotto finito (Figura 4.2) [44].

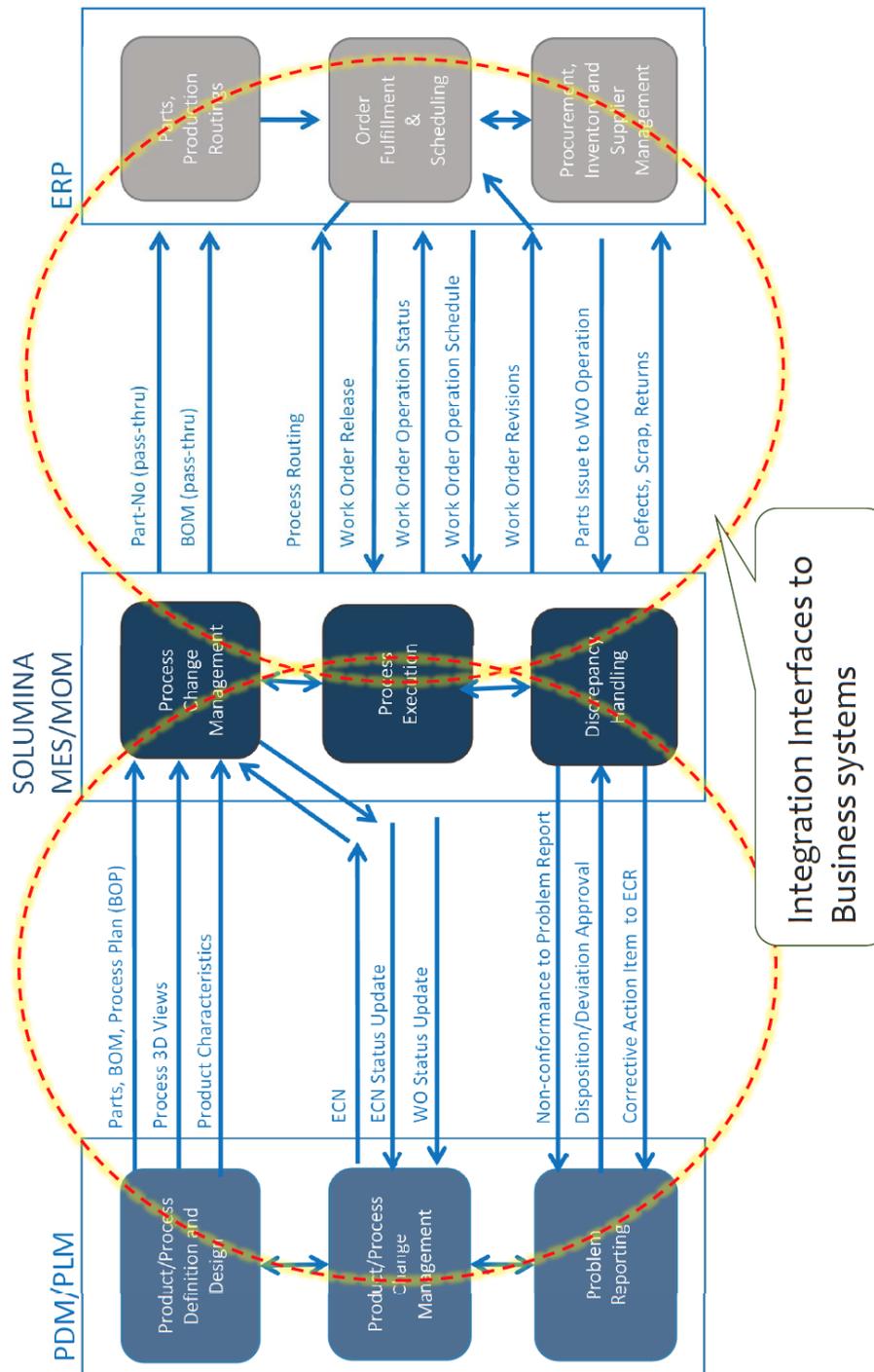


Figura 4.2: Flusso di dati generali tra ERP-MES-PLM, (*iBase-t*, 2018)

Un MES può operare su più aree funzionali come gestione delle definizioni dei prodotti lungo il ciclo di vita del prodotto, gestione delle risorse, esecuzione e invio degli ordini di produzione, raccolta dei dati di produzione, analisi delle performance e tracciabilità.

L'applicazione di Solumina è particolarmente utile in un settore come lo spazio dove è necessaria una grande documentazione di processi e di risultati dei test, grazie alle osservazioni sui tempi, le operazioni di certificazione e tracciabilità impattano notevolmente sui tempi, in più rispetto alle operazioni di montaggio fisico del pezzo, implementare il software rende l'idea di quanto possa essere importante snellire le operazioni.

L'altro effetto positivo atteso dall'introduzione del software è il potenziamento della tracciabilità dei prodotti, fattore importante considerando le sempre più stringenti regolamentazioni sulla qualità e la tracciabilità dei prodotti dello spazio.

## 4.2 Funzionalità

Solumina G8 è un software che ha un elevato numero di funzionalità che si applicano a seconda dei flussi aziendali interessati.

Le funzionalità di Solumina sono svariate, queste possono essere raggruppate per processi anche se ve ne sono altre che non rientrano nel seguente elenco:

- processo di pianificazione del ciclo di lavorazione;
- processo di esecuzione dell'ordine di lavoro;
- processi che riguardano la qualità nel suo complesso;

Analizziamo sia le funzionalità raccolte per gruppo che le aggiuntive.

### ***Process Planning* o Processo per la Pianificazione dei Cicli di Lavorazione**

Solumina è un software utilizzato principalmente dall'Ingegneria di Produzione o *Manufacturing Engineering*, è qui che vengono caricati i cicli e modificati a seconda delle esigenze aziendali.

Le funzionalità che emergono sono:

- **documentazione *paperless***, con Solumina si ha un passaggio ad un sistema privo di supporti cartacei con conseguenti benefici come aggiornamento automatico

e implementazione rapida in caso di modifiche. Il software dunque, determinerà l'eliminazione completa della carta relativa al ciclo di lavorazione e all'ordine di lavoro. L'unico foglio di carta che continuerà ad essere utilizzato sarà il *traveller* contenente il *bar-code* dell'ordine da eseguire, per avviare l'ordine, e la semplice lista delle operazioni contenute.

La fase iniziale sarà di tipo *paper-lite*, al processo digitalizzato sarà affiancato l'utilizzo della carta per facilitare la transizione al processo.

- **informazioni complete a disposizione**, l'operatore durante l'esecuzione dell'ordine ha a disposizione tutte le informazioni necessarie che riguardano i piani di lavoro, in questi si specificano eventuali doppie firme, dati da raccogliere, abilità richieste durante l'esecuzione, strumenti di misurazione, macchine o altri strumenti che contiene il piano di lavorazione;
- **istruzioni semplificate**, Solumina offre una serie di strumenti che permettono di guidare in modo più preciso l'operatore, sul ciclo infatti, in ogni operazione, se semplice possono essere aggiunti dei testi che descrivono cosa fare nel dettaglio, se complessa si allegano disegni, presentazioni, animazioni, modelli 3D o video di supporto. Oltre a questi è possibile inserire collegamenti ipertestuali o link che rimandano a file specifici;
- **librerie standard**, permettono di riutilizzare, testi, operazioni, procedure o illustrazioni contenute nelle librerie. Possono essere inerite nel ciclo o richiamate. Ogni qualvolta viene modificato un oggetto contenuto nelle librerie, automaticamente si aggiorna nei piani dove è contenuto;
- **struttura del flusso operativo**, spesso la struttura degli ordini di lavoro non è sempre lineare (Figura 4.3) ma ha bisogno di essere organizzata in modo più complesso (Figura 4.4) a seconda dei casi, così, in fase di pianificazione, è possibile strutturare la sequenza del ciclo inserendo operazioni in serie, in parallelo, secondo gruppi paralleli o sequenze complesse con decisioni e rilavorazioni preapprovate, operazioni alternative, *loop* finché l'operazione non dà il risultato atteso, operazioni che rimandano ad altre operazioni già eseguite.

Una sequenza strutturata determina una maggiore flessibilità dato che i componenti possono essere dislocati in diversi *work center* e quindi l'ordine può continuare la sua esecuzione senza fermarsi in attesa della chiusura di un'altra operazione.

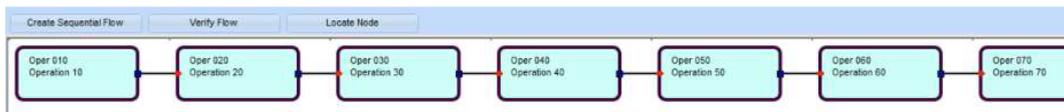


Figura 4.3: Esempio di struttura in sequenza lineare del ciclo di lavorazione [9]

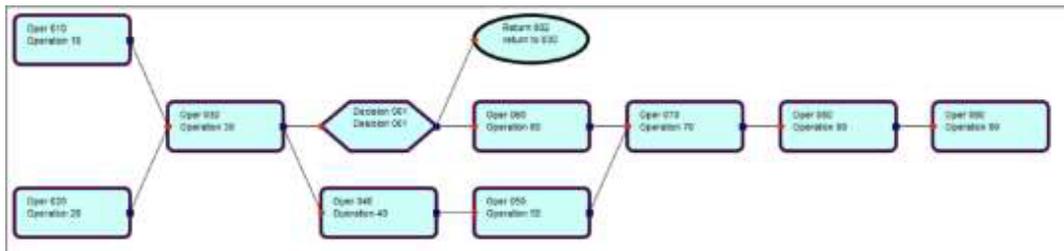


Figura 4.4: Esempio di struttura complessa del ciclo di lavorazione [9]

- **tracciabilità modifica piano**, ogni modifica eseguita sul piano viene automaticamente inserita e tracciata nel piano automaticamente;
- **gestione delle attività**, sono assegnate per ciascun piano, ogni piano può seguire uno specifico flusso di approvazione e a seconda di questo si assegnano le autorità a chi coinvolto nel ciclo. Solumina inoltre offre la possibilità di pianificare la produzione, acquisire le ore-lavoro e i dati di produzione, grazie a questo gli ordini di lavoro possono essere programmati dall'operatore preventivamente e visualizzati graficamente. Quando si esegue un ciclo di lavorazione Solumina tiene in considerazione i vincoli imposti procedendo con l'esecuzione dell'ordine.

### ***Process Execution* o Esecuzione dell'Ordine di Lavoro**

Con l'implementazione di Solumina G8 gli operatori impiegheranno più tempo, almeno nei primi tempi, ad eseguire l'ordine ma ne recuperano altro nella ricerca dei documenti o nell'esecuzione dei calcoli dato che questi saranno automatici.

Tra le funzioni che riguardano l'esecuzione del *work order* vi sono:

- **informazioni sull'ordine**, l'operatore ha a disposizione tutte le informazioni necessarie per l'esecuzione dell'ordine di lavoro, queste sono sempre le più aggiornate.

Tra le informazioni a disposizione vi sono gli attrezzi necessari, eventuali ostacoli, disegni, specifiche e parti interessate.

- **data collection**, la raccolta dei dati è inserita nella creazione del piano di lavoro, questo dà la possibilità di inserire in modo digitale i dati che dovrebbero essere raccolti durante l'esecuzione dell'ordine, dati come rilevamento quote critiche, concentricità, inserimento data/ora, pressioni, semplici conferme di tipo *YES/NO* (Figura 4.5), *Accept/Reject* e altri. Oltre alla raccolta dei dati richiesti, Solumina offre la funzione di calcolo automatico di alcuni parametri che prima venivano calcolati manualmente.

Durante l'esecuzione del *work order*, nel caso in cui il dato inserito o calcolato non dovesse rientrare nei limiti imposti il software lancia un avviso all'operatore.

Part No	Part Rev	Ref Des	Part Title	Part Subtype	Inst Part No	Inst Part Rev	Component Serial No	Component Lot No	Exp Date
500-10143-007 1 1	--/	N/A	500-10143-007 1 1	Subassembly	500-10143-007 1 1	--/			
500-10144-007 1 1	--/	N/A	500-10144-007 1 1	Subassembly	500-10144-007 1 1	--/			
M83340-1-9	--/	N/A	M83340-1-9 1 BRACKET--/REI	LibSubassembly	M83340-1-9	--/			

Figura 4.5: Gestione della *Data Collection*[9]

- **quality notification**, durante l'esecuzione l'operatore può segnalare eventuali errori di processo e/o di prodotto, può allora aprire una *quality notification* (QN), con la quale si analizzano i difetti registrati e si esegue l'analisi della causa principale del problema riscontrato durante l'esecuzione dell'ordine;
- **split**, in caso di errori nella gestione di un ordine di lavoro contenente un numero di pezzi maggiore di 1, l'operatore può spezzare l'ordine direttamente su Solumina senza passare da SAP, la sincronizzazione sarà gestita automaticamente, generando così un nuovo *work order* detto *ordine figlio* con un nuovo codice identificativo. L'ordine *padre* rimarrà in *stand-by* finché non verrà risolto il problema riscontrato;
- **firma digitale** o *buy-off*, ogni individuo che conclude un operazione del ciclo può firmare elettronicamente quanto fatto dopo aver effettuato l'accesso sul software ed aver eseguito l'operazione secondo le istruzioni fornite.

Nell'inserimento della firma elettronica si possono aggiungere eventuali note o segnalare eventuali problemi avviando un processo di *discrepancy*. Inoltre, ad ogni individuo che firma elettronicamente possono essere associate delle certificazioni richieste per concludere alcune operazioni, l'operatore è avvisato anche sulla scadenza delle certificazioni che possiede.

## *Process Quality*

Solumina, pur essendo *paperless*, fornisce un sistema completo per raccogliere la documentazione e tenerne traccia.

Tra le funzionalità che fornisce Solumina per migliorare la qualità vi sono:

- **controllo del prodotto**, tutti i dati e la documentazione sono legati a ciascuna unità identificata dal numero di serie o di lotto. La genealogia del prodotto include componenti e sottoassiemi installati e rimossi, rendendo facile determinare dove è stato utilizzato un determinato componente o materiale;
- **FAI** o *First Article Inspection* chiamato anche PPV o *Process & Product Verification* non è altro che la verifica che viene eseguita sul primo pezzo o periodicamente dopo un tempo determinato dagli operatori della qualità, Solumina oltre a tener traccia, attraverso una funzione che possiede inserisce la certificazione FAI sui cicli che la possiedono;
- **controllo del processo**, Solumina fornisce il controllo del processo che assicura:
  - il corretto ruolo dell'operatore nello svolgimento dell'operazione e la certificazione in corso;
  - gli strumenti adeguati con le date di calibrazione;
  - la documentazione di processo completa e aggiornata;
  - le procedure di le istruzioni di processo.
- **ispezione e piani di prova**, il piano di ispezione prescrive come verificare che il prodotto sia stato costruito o sottoposto a manutenzione per le specifiche tecniche. I piani di ispezione sono incorporati in istruzioni di lavoro e includono i seguenti elementi:
  - operazioni di ispezione e test;
  - requisiti per la raccolta dei dati con limiti di controllo;
- **verifica del prodotto**, durante l'esecuzione dell'ordine di lavoro vengono applicati delle verifiche dei requisiti, infatti, finchè questi non siano tutti veificati non si può procedere con la chiusura di un'operazione. Quando un requisito è fuori dai vincoli il software attiva un allarme per l'operatore.

## Altre funzionalità

Solumina oltre alle precedenti funzionalità contiene anche le seguenti:

- contiene la **storia dell'unità**, cioè su come è stata progettata, costruita e mantenuta. Solumina fornisce una traccia completa del processo di lavoro dalla progettazione alla realizzazione e all'ispezione. La cronologia dell'unità per l'intero albero di sottoassiemi e componenti include dati di produzione, genealogia del prodotto, discrepanze, modifiche alle istruzioni, installazione e rimozione di parti, rilavorazioni e riparazioni.
- genera e stampa **rapporti e grafici**, questi forniscono visibilità sullo stato della produzione, le metriche, le aspettative e le tendenze. Dai report di riepilogo o dai grafici è possibile eseguire il *drill-down* dei dati dettagliati negli ordini di lavoro o nelle *discrepancy*. Il reparto di *Engineering*, *Manufacturing Engineering* e *Quality* utilizzano infatti il software per verificare lo stato di salute della produzione, il software può elaborare dei *trending reports* e dei *product reports* che permettono ai manager di agire su eventuali parti di processo.

Tra i report più importanti prodotti da solumina vi sono il SPC Control Chart (Figura 4.6), questi rileva automaticamente le condizioni fuori controllo.

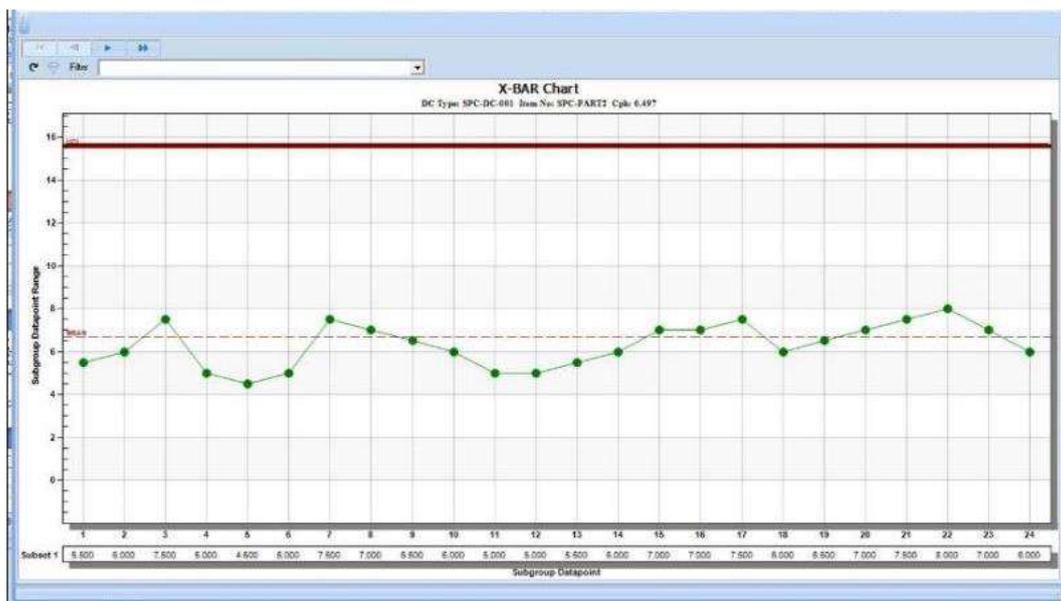


Figura 4.6: SPC [9]

Altri report prodotti riguardano i tempo di ciclo, i tempo di completamento, i rendimento ed l'efficienza. I report prodotti sono di supporto per l'individuazione di eventuali errori.

- si attiene alla **conformità normativa** poichè soddisfa i più severi requisiti di gestione del processo e di integrità del settore, tra cui *ISO9001, AS9100, ISO13485, FAA e FDA Title 21 CFR Parts 11 e 820*.
- **prestazioni e scalabilità**, il software supporta un'enorme quantità di dati e offre più opzioni di configurazione e implementazione.
- **integrazione del sistema**, fornisce meccanismi per l'integrazione da *client a client*, l'interfaccia *application-to-application* e *business-to-business*, comprese l'interfaccia con *XML standard*. L'integrazione di Solumina, come anticipato nel paragrafo introduttivo, consente un collegamento diretto tra l'officina e i sistemi di gestione ERP.
- **accesso protetto** al database è controllato da ruoli, privilegi e dall'accesso utente. Sono disponibili ulteriori protezioni IP e controlli di sicurezza ITAR attraverso la funzionalità *Security Group*.
- **adattabilità**, Solumina è configurabile per specifiche strutture organizzative e pratiche. Le funzionalità di configurazione includono ruoli funzionali, flusso di lavoro, regole di invio del centro di lavoro, regole aziendali supplementari e presentazioni su misura.

Grazie a queste funzionalità, il sistema sarà di supporto all'azienda nel processo di miglioramento del controllo dei costi e nell'ottimizzazione dell'efficienza. L'implementazione può contribuire attivamente ad un miglioramento complessivo della qualità della produzione e della supply-chain, con un conseguente miglioramento del servizio al cliente finale e del rapporto di fiducia azienda-cliente.

### 4.3 Passaggio da Solumina G7 a G8

I due software sono molto simili, Solumina G8 è l'evoluzione di G7 ma con funzionalità in più. La versione precedente aveva poche funzionalità in meno rispetto alla versione G8. SG7 poteva anche essere un MES ma all'interno dell'azienda non sono state utilizzate a pieno le sue potenzialità e si è deciso ad un certo punto di utilizzarlo solo per tenere traccia dei cicli di lavorazione nel reparto manufacturing, serviva allora semplicemente per modificare e caricare i cicli di lavorazione.

SG8 invece, è implementato per riprendere le funzionalità che non erano state utilizzate della versione precedente, quindi oltre a gestire i cicli riesce a gestire anche i *work orders*. Solumina G7 inoltre graficamente è molto simile al G8 ma non era integrato alle macchine e non riusciva a gestire gli ordini di lavoro.

Nella Tabella 6.1 che segue si riassumono le differenze tra i due software nell'utilizzo dal punto di vista aziendale.

<b>Solumina G7</b>	<b>Solumina G8</b>
Utilizzato solamente da <i>Manufacturing Engineering</i>	Utilizzato da diversi reparti, <i>Manufacturing Engineering</i> , Direzione tecnica, Operatori, Qualità
Realizzazione e stampa dei cicli di lavorazione	Realizzazione dei cicli di lavorazione e gestione degli ordini di lavoro
Stampa del ciclo di lavorazione e dell'ordine di lavorazione (cartellino) cartacei	Visualizzazione su monitor sia del ciclo che dei relativi ordini collegati
Aggiornamento manuale al cambio di configurazione del componente	Aggiornamento automatico al cambio di configurazione del componente
Acquisizione dei dati richiesti manualmente con eventuale calcolo manuale dove richiesto	Raccolta dati su software con controllo attraverso limiti imposti e calcolo automatico dove necessario
Presenza di testo e immagini 2D	Oltre testo e immagini 2D, possibilità di aggiunta immagini 3D e video di supporto
Esecuzione dell'ordine seguendo cartellino stampato	Esecuzione ed apertura direttamente su Solumina dopo aver scannerizzato il codice a barre dell'ordine di lavoro tramite pistola dal software

Tabella 4.1: Differenze tra Solumina G7 e Solumina G8

## 4.4 Interfacce con altri software e sistemi

Come avevamo scritto nella sezione precedente, Solumina funge da collante tra un sistema ERP, i sistemi PLM e i sistemi CAD, il che implica che il software ha la necessità di comunicare con altri software aziendali.

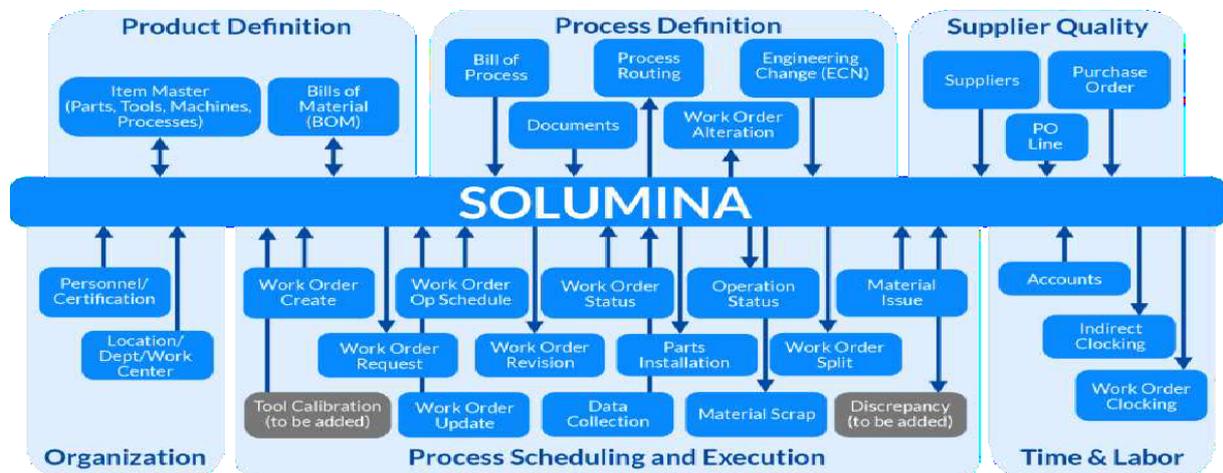


Figura 4.7: Integrazione tra SG8 e le altre aree funzionali (*iBase-t*, 2018)

I principali software con cui collabora Solumina sono:

- **SAP**, è il sistema ERP della Microtecnica, è un sistema di pianificazione delle risorse aziendali che permette, tra le tante funzioni, di gestire le operazioni di approvvigionamento, produzione, vendite, *finance*, inventario. Oltre a fungere da sistema ERP, SAP offre una serie di opzioni di ausilio nella gestione aziendale. Uno dei *tool* di SAP utilizzato e integrato con Solumina G8 è **Tableau**, è uno strumento che permette di sfruttare al massimo le potenzialità di SAP poiché permette di connettere i dati presenti e visualizzare e creare dei collegamenti semplici e interattivi. Integrato anche con SG8 è **Business Object**, facente parte del gruppo dei sistemi SAP, è una suite di software che permettono l'estrazione di dati importanti, il software più utilizzato dalla suite è *Business Intelligent* per estrapolare report
- **TeamCenter**, è un software di tipo PLM (*Product Lifecycle Management*) creato dalla Siemens, per gestire il ciclo di vita di un prodotto. Il software combina tutti i dati *Mechanical Computer-Aided Design* (MCAD) in un singolo ambiente di gestione dei dati di prodotto
- **PowerEdit**, è un software di aiuto alla programmazione, personalizzabile dall'utente, e di configurazione dei diversi profili di editazione a seconda dei controlli presenti

in officina, permette dunque la programmazione di ogni tipo di funzione, macro, e programmi parametrici per qualunque macchina a controllo numerico CNC

- **IndySoft**, è un software di gestione degli utensili, offre una serie di funzioni che permettono di gestire l'intero ciclo di vita degli attrezzi utilizzati. Il software tiene traccia delle date di scadenza, delle revisioni e dei valori di calibrazione seguendo una serie di requisiti
- **Autotime 7**, è un software che si occupa di rilevare sia le ore-macchina che le ore-uomo e le trasmette al MES
- **xClass**, è un software di gestione interno che permette di classificare, monitorare e mantenere un ordine
- **VisualFair**, è un sistema integrato che crea e gestisce i *first article inspection* (FAI), cioè un'ispezione sul primo articolo prodotto eseguita da parte del fornitore, dal cliente o da entrambi. Il software utilizza un sistema basato su un controllo visivo codificato per rilevare eventuali errori. È utilizzato principalmente nelle aziende aerospaziali
- **IQS** o *Quality Management and Compliance Software*, è un software di gestione e conformità della qualità nella produzione aerospaziale e della difesa. È caratterizzato da una piattaforma comune e integrata, è progettato per automatizzare i processi di gestione della qualità, controllare i documenti gestire le modifiche e fornire una standardizzazione nei processi e nei prodotti.

## 4.5 Matrice dei ruoli e privilegi

Con la Digital Transformation cambiano radicalmente gli scenari nella produzione di beni e servizi, questo richiede infatti un'attenta riflessione sulle nuove competenze in gioco per cui definire i privilegi legati al ruolo di ogni individuo in questo contesto è strategico.

Solumina è un sistema di tipo *Role Based Access Control* (RBAC) cioè un sistema che assegna i privilegi non agli utenti, ma alla funzione che questi possono svolgere nel contesto di una certa organizzazione. L'utente allora acquista i privilegi assumendo uno o più ruoli.

Il sistema RBAC consente allora di supportare i principi di sicurezza [47]:

- *Least Privilege*, minimo privilegio;

- *Separation of duties*, separazione dei compiti.

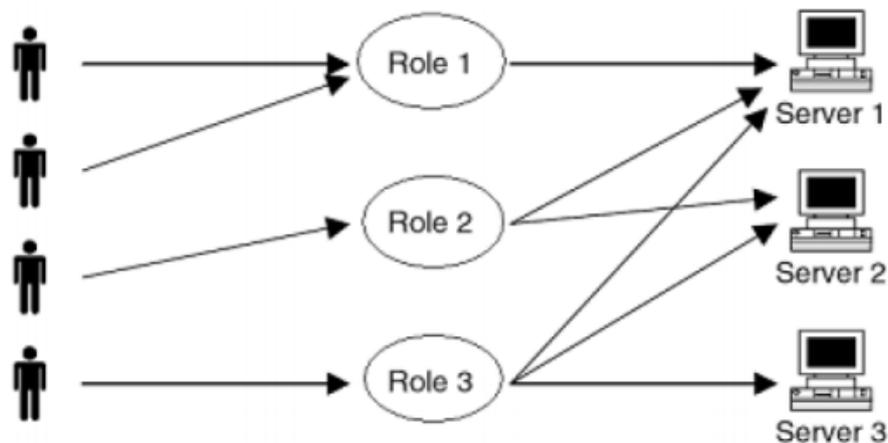


Figura 4.8: *Use-case* di un sistema RBAC [30]

Quando si definisce un modello RBAC è fondamentale individuare quattro entità [47]:

1. **Utente**, tipicamente un individuo ma potrebbe essere un altro software
2. **Ruolo**, una funzione lavorativa interna all'organizzazione che descrive le autorità e le responsabilità.
3. **Privilegio**, cioè l'approvazione di un particolare modo di accesso ad uno o più oggetti del sistema.
4. **Sessione**, la fase durante la quale si può attivare un sottoinsieme dei ruoli che gli appartengono. Ogni sessione mappa un utente sui possibili ruoli che può attivare.

La RBAC in Microtecnica è di tipo gerarchico (Figura 4.9), si ha infatti un'effettiva ereditarietà di permessi, ovvero, salendo nella gerarchia, i vari ruoli possiedono tutti i permessi dei ruoli sottoposti, oltre ai propri.

Nell'implementazione del software risulta fondamentale definire ruoli e privilegi in modo da eliminare le ambiguità, allineare in maniera adeguata gli obiettivi tra le diverse dimensioni in gioco e soprattutto introdurre la mentalità di azienda paragonata ad un insieme di meccanismi che cooperano insieme, come un unico organismo, per il raggiungimento di uno scopo. L'assegnazione corretta garantirà il buon completamento del progetto.

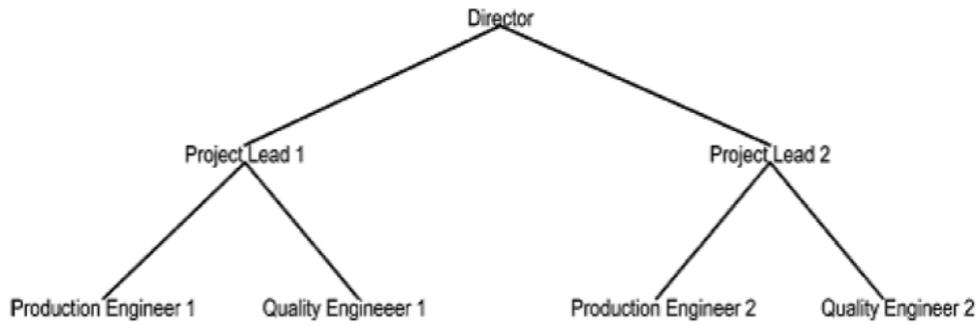


Figura 4.9: Esempio di gerarchia di ruoli

Per risolvere la questione è stata creata una matrice con i privilegi sulle righe e i ruoli sulle colonne (Figura 4.10).

Sono stati individuati in tutto sedici privilegi e questi sono stati associati ai ruoli, in tutto nove compreso il ruolo di sola lettura.

Dopo aver compilato la matrice con le relazioni corrette, è stata stilata una lista di tutti gli indivisui che utilizzeranno il software Solumina G8 e a ognuno di questi è stato attribuito uno o più ruoli e di conseguenza l'abilitazione ai privilegi relativi al ruolo assegnato.

	ITALY / Role								
	SOLA LETTURA	DT - Ingegneria	MFG-1	MFG-2	MFG-3	PIANIFICATORE	RESPONSABILE OFFICINA	OPERATORE	QUALITA'
SF\$ENGINEERING		X							
SF\$IE_PLANNER			X	X	X				
SF\$MACHINE				X	X		X		
SF\$PROCESS CHANGE FACILITATOR					X				
SF\$PROCESS ENGINEERING PLANNER		X	X	X	X				
SF\$PROCESS_PLAN_APPROVER				X	X				
SF\$PROCESS_PLAN_REVIEWER					X				
SF\$PRODUCTION_CONTROL PLANNER						X		X	
SF\$SHOPFLOOR_LEAD TECHNICIAN				X	X		X		
SF\$SHOPFLOOR_PLANNER						X			
SF\$SHOPFLOOR_SUPERVISOR							X		
SF\$SHOPFLOOR_TECHNICIAN								X	
SF\$SQA_AUDITORS									X
SF\$SQA_QE_MANAGER									X
SF\$SQA_QUALITY_ENGINEER									X
SF\$SQA_SUPPLIER_MGR									X

Figura 4.10: Matrice dei ruoli

## Capitolo 5

# Trasformazione digitale in Microtecnica

Per allinearsi alle nuove realtà aziendali, Microtecnica è stata la prima del gruppo *Collins Aerospace Italy* ad aver applicato il processo di *digital transformation* attraverso l'implementazione del software Solumina G8 che rappresenta dunque la principale chiave d'accesso verso il mondo dell'Industria 4.0.

L'industria aeronautica fa parte di un settore in crescita con una domanda poco prevedibile, i prodotti finiti sono complessi per cui le aziende che producono in questo settore hanno di continuo problemi di carattere tecnologico e logistico poiché devono trovare un giusto *trade off* tra costi, qualità e tempi, tali richieste determinano un elevato livello di flessibilità, questo è uno dei motivi per cui l'azienda ha deciso di avviare il processo di digitalizzazione e sfruttarne i benefici.

La digitalizzazione dei processi, come anticipato nel Capitolo 3, permette di ottenere notevoli vantaggi in termini di recupero di efficienza, attraverso una maggiore facilità di reperimento e accuratezza dei dati, la riduzione dei tempi di lavorazione ed il miglioramento della fluidità dello scambio di informazioni, solo se viene estesa anche allo scambio di informazioni da e verso i clienti e/o i fornitori che, condividendo le logiche di gestione dei principali dati, li rendono fruibili ed elaborabili immediatamente dai diversi sistemi IT.

Nel seguente capitolo verrà descritto lo scopo dell'implementazione per la Microtecnica e i relativi benefici, sarà effettuata un'analisi di tipo AS-IS ed una di tipo TO-BE, relative al, rispettivamente *current state* e *future state* dei processi aziendali prima e dopo l'implementazione, sarà trattata la parte di *change management*. Il capitolo sarà concluso con un paragrafo relativo ai risultati attesi dati dal processo di *digitalization*.

## 5.1 Scopo dell'implementazione

Il processo di trasformazione digitale in corso ha alle spalle uno studio di fattibilità e gestione accurato, come anticipato nella parte introduttiva della tesi, il progetto è stato suddiviso in differenti macro attività secondo reparti o sedi del gruppo *Collins Aerospace Italy*.

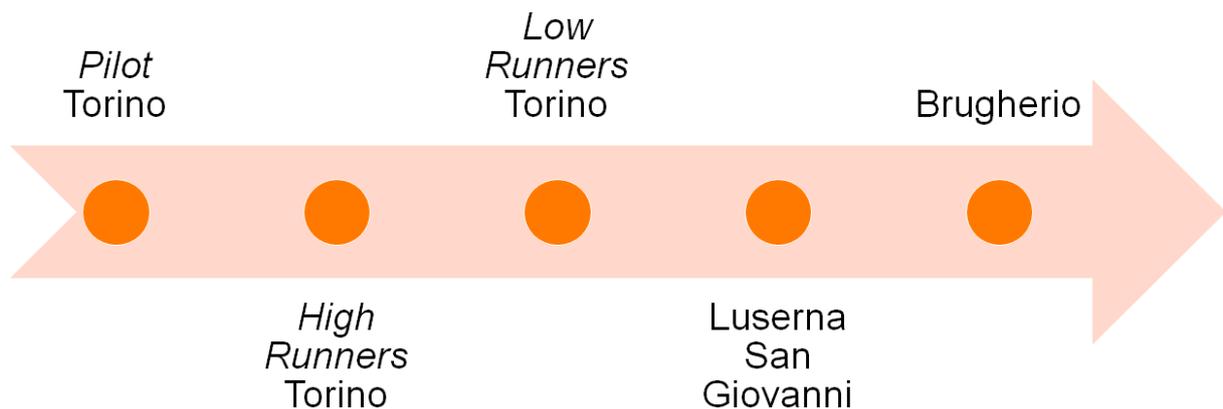


Figura 5.1: Strategia di implementazione per celle e/o sedi

Il processo dunque è stato attuato inizialmente nella cella spazio della sede di Torino, seguono le celle di produzione dei prodotti *High Runners*, *Low Runners*, la sede di Luserna San Giovanni e per finire Brugherio (Figura 5.1).

Nella definizione del progetto sono stati valutati e determinati i seguenti benefici:

- Riduzione del 98% dei documenti cartacei prodotti e scambiati, con conseguente riduzione dei costi di stampa,
- risparmio di tempo,
- riduzione degli errori manuali,
- recupero delle informazioni più rapido,
- riduzione dei costi di archiviazione,
- incremento nella produttività,

- maggior rispetto delle *policy* aziendali,
- protezione e sicurezza dei dati,
- maggior soddisfazione di clienti e dipendenti dopo essere entrati nell'ottica.

Tra la *vision* aziendale hanno un ruolo determinante il fatto di rendere tutto completamente, o quasi, *paperless* e rendere tracciabile ogni operazione.

### 5.1.1 Da *paper* a *paperless*

Come anticipato nel paragrafo precedente, Solumina permette una riduzione dell'uso di carta di circa il 98%, questo implica per la Microtecnica una vera e propria rivoluzione.

Prima della *digitalization* tutti i documenti prodotti erano cartacei, venivano scannerizzati e trasferiti nel database del server aziendale.

I dati venivano principalmente registrati manualmente su carta, infatti, venivano fatti enormi sforzi per eseguire determinate analisi o report oltre a correre il rischio di cadere in errore.

L'implementazione di Solumina permette di avere tutto a portata di *click*, infatti, come anticipato, Solumina permetterà l'eliminazione totale della carta dei cicli di lavorazione e del cartellino (Figura 5.2) relativo all'ordine in esecuzione. Di questi due, tutte le informazioni necessarie compariranno a video.

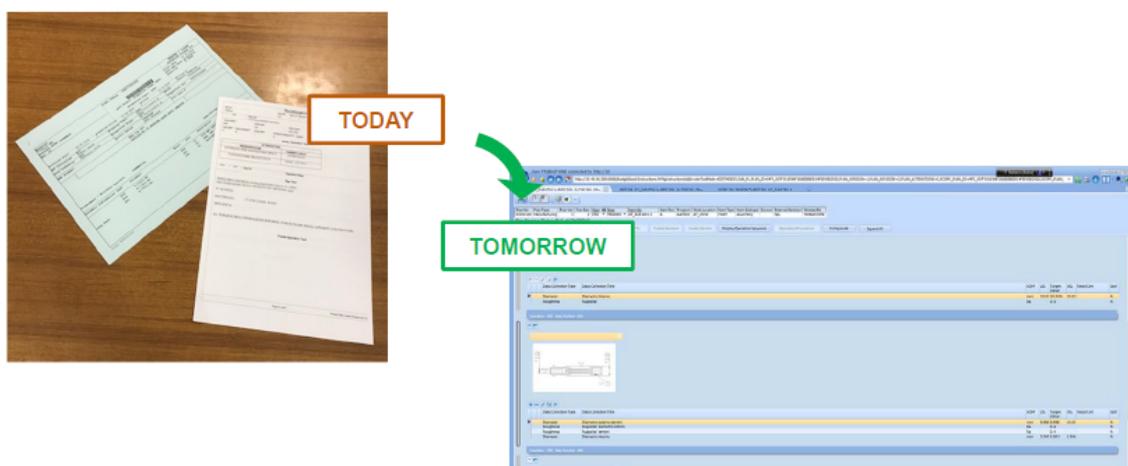


Figura 5.2: Eliminazione del cartellino cartaceo per l'esecuzione del *work order*

L'unico foglio di carta che continuerà ad essere utilizzato sarà il *traveller*, il documento contenente il *bar code* e il numero dell'ordine di lavoro, il numero di lotto e l'elenco delle operazioni che costituiscono il piano di lavoro, il documento costituisce una sorta di carta di identità dell'ordine di lavoro.

Il *traveller* rimane fondamentale poiché facilita la gestione dell'ordine dato che avendo questo foglio in mano, l'operatore attraverso una semplice scansione sul codice a barre del *work order*, dopo aver effettuato l'accesso su Solumina, può semplicemente accedere direttamente all'ordine in esame, iniziando così l'esecuzione.

Il *traveller* è un documento che non ha più uno scopo qualitativo e certificativo, compiuto ormai da Solumina, ma solo indicativo per tenere traccia del punto in cui si è, dato che si segna il punto in cui si è arrivati nell'elenco delle operazioni, o per farsi un'idea di quello che contiene l'ordine.

Solumina come i cicli di lavorazione, le schede di registrazione e i cartellini dell'ordine di lavoro, permette anche l'eliminazione dei verbali di collaudo o VCA redatti dall'ingegneria, sino a quel momento compilati manualmente su carta e archiviati.

I VCA comprendono l'esame di prodotto, l'ispezione visiva, la prova di pressione, la prova di perdita interna e la verifica di pulizia sul pezzo. Su Solumina sono inseriti attraverso collezionamento dei dati, insieme agli altri certificati redatti in base alla tipologia di processo.

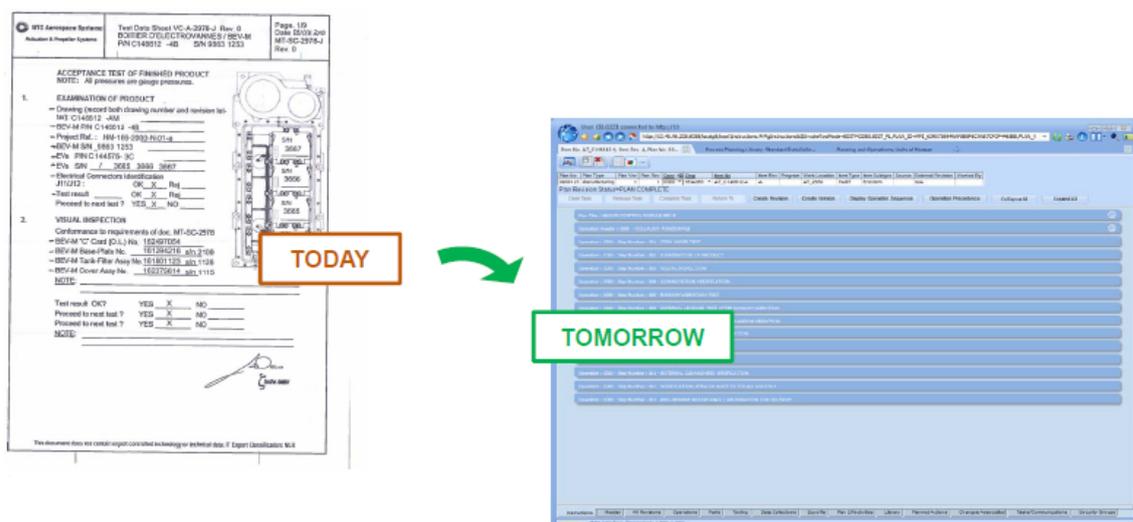


Figura 5.3: Eliminazione dei VCA cartacei

Inoltre, non esistendo più la carta, ogni operazione sarà firmata elettronicamente a seguito dell'accesso sul software. Le firme digitali o *buyoff* costituiscono la tipologia di firma elettronica più avanzata e sicura, possono essere utilizzate per rispettare i requisiti legali e normativi più severi, dal momento che garantiscono i massimi livelli di attendibilità in relazione all'identità di ciascun firmatario e all'autenticità dei documenti che firma.

### 5.1.2 Tracciabilità

Con la trasformazione digitale si ha una tracciabilità completa delle parti non avendo più registrazione su carta, il che implicava un enorme sforzo per ottenere i dati disponibili.

Con la trasformazione digitale i sistemi MES semplificano le operazioni di fabbrica gestendo e monitorando tutti i *work-in-progress*, compresa la visibilità in tempo reale e consentendo la tracciabilità di materiali e prodotti durante il loro ciclo di vita, facilitando azioni correttive per i prodotti difettosi.

La tracciabilità può essere di tipo:

- **top-down**, dal *serial number* (S/N) finale ai lotti di pezzi, lotti di materiale, QN e informazioni di produzione
- **bottom-up**, dai lotti di produzione al S/N consegnato

L'integrazione di dati in tempo reale sulla disponibilità di materiali attraverso l'intera catena di fornitura con i sistemi ERP può aiutare i produttori a ridurre interruzioni e ritardi non necessari.

Grazie alla tracciabilità è possibile migliorare l'efficienza dell'intero processo di produzione, dall'arrivo alla consegna finale, e la possibilità di facilitare il controllo sui processi e sui prodotti.

Poiché i processi di produzione diventano più complessi, la capacità di tracciare tutti i dati relativi ai prodotti dal progetto alla consegna è essenziale per massimizzare l'efficienza produttiva.

## 5.2 Nuovi flussi

In Microtecnica S.r.l. sono stati individuati in tutto 8 flussi di processo in ottica di digitalizzazione raggruppati secondo tre macro aree (Figura 5.4):

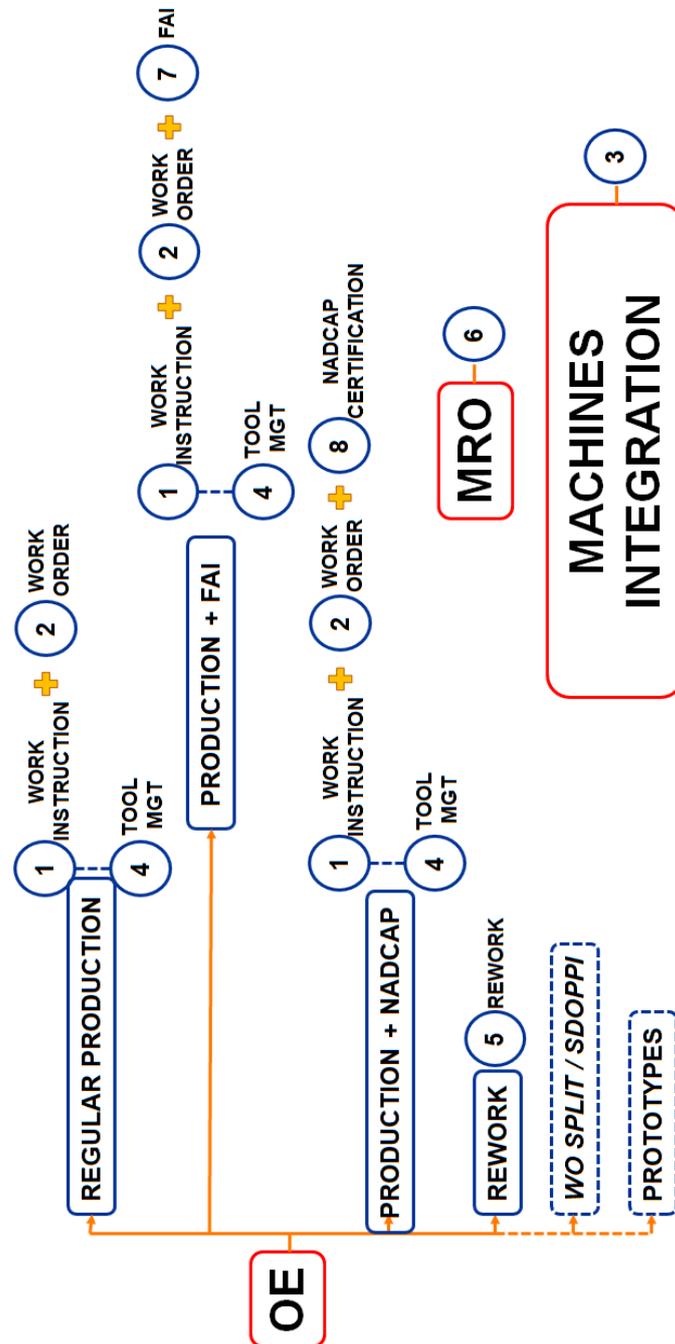


Figura 5.4: Organizzazione dei flussi che costituiscono i processi

- la **Original Equipment Manufacturer (OEM)** dove si svolgono attività di collaudo e assemblaggio dei prodotti, il reparto a sua volta si suddivide in *Low Runners*

(produzione a bassi volumi) e *High Runners* (produzione ad alti volumi), la cella Ariane fa parte dei *Low Runners* come anticipato nel Capitolo 2

- il **Maintenance, Repair and Operations (MRO)** invece si occupa di attività di revisione e riparazione di componenti guasti o che hanno raggiunto il limite di ore di volo concesso
- il **Machines Integration**, il reparto macchine integrate ai software presenti in azienda

Il processo di trasformazione digitale verrà applicato inizialmente nello stabilimento di Torino all'*Original Equipment Manufacturer* e al *Machines Integration*, successivamente al reparto MRO.

Lo schema della Figura 5.4 indica come ogni macro-area sia caratterizzata da uno o più processi, e come questi combinandosi con altri diano vita alle attività eseguite in azienda.

I processi sono indicati con un numero che va da 1 a 8 e sono, in ordine numerico:

1. creazione di un **ciclo di lavorazione** o *work instruction*, cioè la creazione del piano contenente tutte le indicazioni per la realizzazione di un prodotto;
2. gestione dell'**ordine di lavoro** o *work order*, ovvero l'esecuzione delle indicazioni contenute nel ciclo di lavorazione;
3. l'**integrazione con le macchine** o *machines integration*, il collegamento tra i vari software e le macchine presenti nello stabilimento;
4. la **gestione degli utensili** o *tool management*, si occupa di tenere traccia sulla data di scadenza, certificazione e requisiti degli strumenti aziendali;
5. il **processo di rilavorazione** o *rework process*, quando un pezzo è rimandato in officina a seguito dell'individuazione di qualche imperfezione;
6. la **revisione e manutenzione** o *repair and overhaul process* del prodotto, a seconda di eventuali imperfezioni riscontrate non rilavorabili o revisioni periodiche;
7. il **processo FAI** di ispezione sul primo pezzo o ispezione periodica;
8. la **certificazione NADCAP**, o certificazione *National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program*, per gestire un comune approccio all'accreditamento dei processi speciali e promuovere il miglioramento continuo;

Tra i flussi implicati nel processo di digitalizzazione dell'OEM, quelli relativi alle certificazioni NADCAP e FAI non saranno digitalizzati nel breve periodo. Invece come area aziendale, il MRO manterrà lo stato iniziale finché il processo di digitalizzazione non sarà attuato nei reparti di tutti e tre gli stabilimenti. Per questo motivo, i flussi 6, 7 e 8 non saranno analizzati nell'analisi TO-BE.

Nei paragrafi seguenti saranno valutati singolarmente i cambiamenti su ogni processo, ognuno di questi sarà analizzato con un'analisi AS-IS allo stato corrente, nel paragrafo che segue, dove possibile, sarà applicata analisi TO-BE, dello stato futuro.

### 5.2.1 Analisi AS-IS

Dopo aver raccolto i dati sono stati strutturati gli otto processi che costituiscono le attività delle tre macro-aree dello stabilimento di Torino allo stato corrente.

Ogni processo è costituito da blocchi di diverso colore, ogni colore indica il software utilizzato per compiere l'attività. I software sono descritti nel dettaglio nel paragrafo 4.4 del Capitolo 3, a eccezione della stampa in PDF, indicata con il blocco verde.

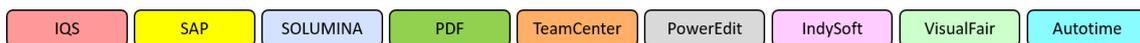


Figura 5.5: Legenda dei software interessati nei vari flussi

1. Secondo il flusso per la creazione di una **Work Instruction** allo stato corrente, la direzione tecnica o *engineering* rilascia un nuovo disegno o una nuova revisione, nel contempo, l'ingegneria di produzione o *Manufacturing Engineering* (ME) crea e/o carica la BOM oppure, se si tratta di un componente esterno, l'ufficio acquisti richiede l'ordine al *Vendor* che rilascia il ciclo dopo l'approvazione del ME, dopodiché il ME crea il ciclo nella nuova revisione e lo carica su Solumina G7, attende la sincronizzazione su SAP e rilascia il ciclo in formato PDF, per poi essere stampato in forma cartacea

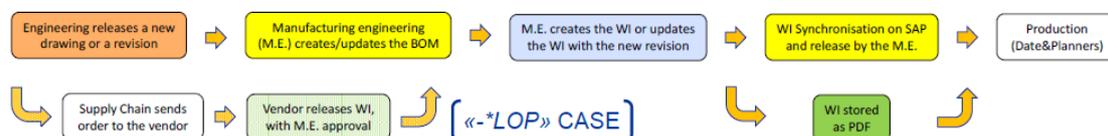


Figura 5.6: *Work Instruction - current state*

2. Per l'esecuzione del **Work Order** il *Material Requirements Planning* crea automaticamente gli ordini pianificati su SAP, SAP lo gestisce in termini di quantità e

data, si stampa il ciclo di lavorazione e il cartellino dell'ordine su carta, si procede registrando valori e firmando su carta

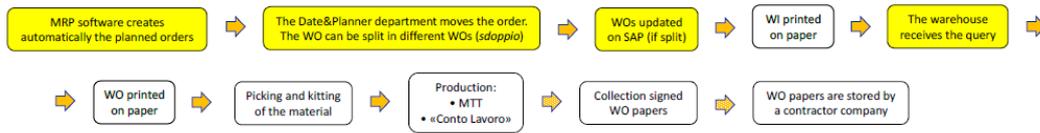


Figura 5.7: *Work Order - current state*

3. **Machines Integration** il ME rilascia nuovi *part program*, cioè indicazioni sulle lavorazioni, o revisioni, si sincronizza su Solumina G7, si salva come ciclo di lavorazione in PDF e si stampa su carta per la produzione, si collezionano informazioni sul *labor time* su PowerEdit, su SAP e Autotime 7

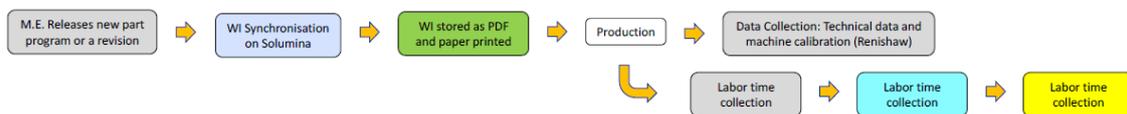


Figura 5.8: *Machines Integration - current state*

4. **Tool Management**, allo stato corrente il ME crea e modifica gli utensili e li inserisce nelle relative *Bill Of Material* (BOM) su TeamCenter, si ha sincronizzazione con IndySoft, il ME modifica e rilascia i cicli su Solumina G7, dopodichè saranno stampati in PDF e al bisogno su carta



Figura 5.9: *Tool Management - current state*

5. Il **Rework Process** è gestito interamente su SAP, l'operatore che sta eseguendo l'ordine in caso di imperfezione apre una *Quality Notification* (QN) su SAP, il ME e la Qualità mandano le nuove istruzioni su SAP, l'operatore esegue la modifica se necessaria e chiude la QN su SAP, va così avanti con l'ordine

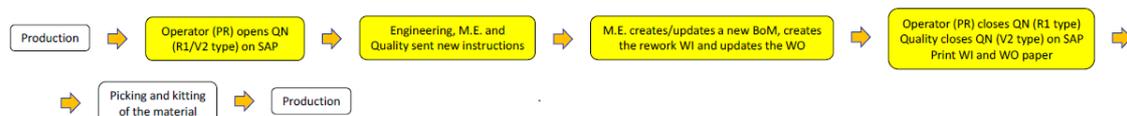


Figura 5.10: *Rework Process - current state*

6. Nel **Repair and overhaul process** l'operatore del MRO che riceve un componente e la relativa documentazione cartacea dal cliente, crea una notifica sull'ordine di lavoro su SAP, inizia un processo di test, ispezione, riparazione o revisione, si stampa il report, si carica su SAP e si rilascia l'eventuale certificazione



Figura 5.11: *Repair and overhaul process - current state*

7. Allo stato corrente nella certificazione del **FAI Process**, il ME rilascia il ciclo e l'ordine su SAP, i pianificatori avviano il ciclo delle parti soggette a certificazione FAI, il reparto qualità apre l'operazione su VisualFair, l'operatore stampa da VisualFair la certificazione richiesta, la qualità fa un'ispezione finale e crea un report chiudendo l'operazione su SAP



Figura 5.12: *FAI Process - current state*

8. Nella **NADCAP Certification**, l'operatore apre una scheda sul sistema IQS controllando quanto ricevuto, il ME approva le disposizioni, si effettua certificazione, si stampa report e si allega all'ordine di lavoro



Figura 5.13: *NADCAP Certification - current state*

## 5.2.2 Analisi TO-BE

L'analisi TO-BE descrive invece il *future state* dei processi individuati a seguito dell'implementazione di Solumina G8, la legenda dei software in Figura 5.5 rimane uguale a eccezione del colore azzurro, perchè non indica più Solumina G7 del *current state* ma il G8.



Figura 5.14: Legenda dei software interessati nei vari flussi

1. Nella creazione del **Work Instruction** la direzione tecnica crea e/o rilascia un nuovo disegno, rimane uguale a prima sino al caricamento delle istruzioni su Solumina, in cui il *Manufacturing Engineering* creare o caricare direttamente il ciclo sul software, lo rilascia e si attende prima il rilascio da parte del reparto *Quality* per la sincronizzazione su SAP, a differenza di prima non si genera più il file in PDF e i rilasci sono gestiti interamente su Solumina e successivamente sincronizzati su SAP

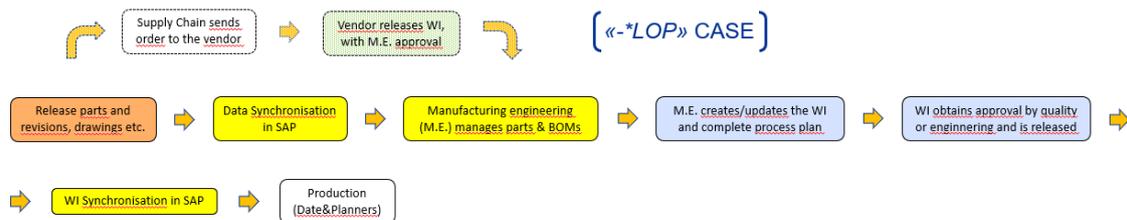


Figura 5.15: *Work Instruction - future state*

2. Nel processo di esecuzione del **Work Order** il flusso a livello di software rimane uguale, ma non esiste più la carta per seguire le indicazioni, tutto è a video durante l'esecuzione su Solumina G8

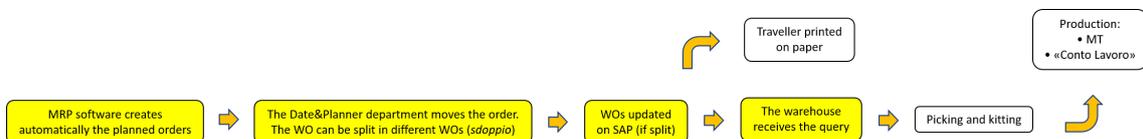


Figura 5.16: *Work Order - future state*

3. Nella **Machines Integration** l'unico cambiamento che si ha con l'implementazione di Solumina riguarda la stampa delle *work instruction* su carta, dopo la sincronizzazione su Solumina viene salvato il processo di stampa e si vanno a calcolare direttamente sia le ore-macchina che le ore lavoro sul software che si interfaccia sia con Autotime 7 che con TeamCenter

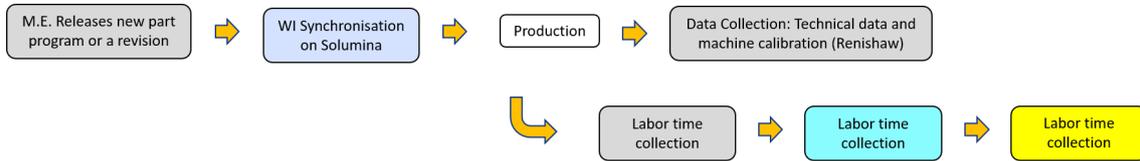


Figura 5.17: *Machines Integration - future state*

4. Con l'integrazione tra Solumina e IndySoft, per il **Tool Management** il ME aggiorna la BOM che si sincronizza automaticamente con Solumina, alchè il ME carica il ciclo e lo rilascia senza la necessità di dover stamparlo in PDF per andare in produzione



Figura 5.18: *Tool Management - future state*

5. Nel **Rework Process** l'operatore che gestisce l'operazione non ha più la necessità di andare su SAP per aprire una *Quality Notification*, questa sarà gestita direttamente su Solumina che aggiornerà automaticamente su SAP, dopodiché il MES, creerà una nuovo ciclo di rilavorazione e rilascia un nuovo ordine di rilavorazione su Solumina, alla fine l'operatore chiuderà la QN su Solumina che aggiornerà a sua volta SAP

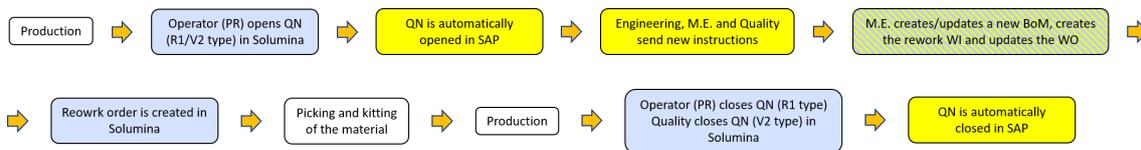


Figura 5.19: *Rework Process future state*

I processi 6, 7 e 8 nel breve termine non subiranno variazioni.

## 5.3 *Change Management*

Tutti i progetti hanno alla base il concetto di cambiamento, cioè di trasformazione. La gestione del cambiamento o *change management* fornisce strumenti e processi per riconoscere e comprendere il cambiamento e gestire l'impatto umano di una transizione, la parte più complessa. Ad oggi il digitale è tra i principali driver del *Change Management*.

La gestione del cambiamento implica un percorso di trasformazione da una situazione attuale ad una prefissata e una fase di transizione, il processo contempla 4 elementi, che costituiscono il modello 4P, intesi come i pilastri del processo (Bridges and Bridges, 2017):

- *Peolple*, le persone devono cambiare il proprio *mindset*,
- *Process*, si devono rivedere i processi in chiave moderna, o meglio digitale,
- *Platform*, introduzione di nuove tecnologie digitali,
- *Place*, ripensare ai luoghi in ottica digitale.

In generale rispetto al cambiamento, i lavoratori hanno attitudini e percezioni negative, le principali resistenze risultano essere le abitudini, le credenze, la mancanza di motivazione al cambiamento, la mancanza di competenze e quella di tempo, a queste spesso si aggiungono la paura di perdere il proprio lavoro, il loro *status* o la loro sicurezza sociale, o sono più semplicemente spaventati da un maggiore carico di lavoro.

In linea generale, quando avviene un processo di *change management* i primi effetti sui dipendenti, manager e performance sono negativi. Di conseguenza si creano situazioni di paura, stress, frustrazione ed il rifiuto del cambiamento. La maggior parte dei lavoratori tende a resistere al cambiamento piuttosto che vedere questi come un miglioramento, hanno paura di perdere il completo controllo avuto fino a quel punto, a questo si aggiunge l'incompletezza delle informazioni relative ad attività, carico di lavoro e responsabilità (Todnem, 2007).

Backhard e David Gleicher hanno sviluppato l'*Equazione del Cambiamento*, una formula di resistenza al cambiamento che rappresenta un modello di valutazione delle forze che influiscono sul successo o sul fallimento del cambiamento nelle organizzazioni (Raimondi, 2013).

$$D * V * F > R \quad (5.1)$$

Con rispettivamente:

- **D (Dissatisfaction)**, insoddisfazione dello stato attuale e consapevolezza di un interiore bisogno di cambiamento;
- **V (Vision)**, la visione, ideata, non immaginata, dello stato desiderato;
- **F (First steps)**, i primi passi verso lo stato desiderato;
- **R (Resistance)**, resistenza al cambiamento.

La formula, creata da Richard Beckhard e David Gleicher, esprime il concetto fondamentale che il cambiamento è realizzabile soltanto se il prodotto delle forze che producono il cambiamento è superiore alla resistenza che vi si oppone.

I managers devono tenere in considerazione gli effetti collaterali delle iniziative di cambiamento per raggiungere gli attesi risultati positivi poichè il successo dei progetti dipende soprattutto dall'abilità dell'organizzazione di rendere tutti i lavoratori partecipi del processo di cambiamento in un modo o nell'altro (Visentin, 2014).

Gestione del cambiamento significa pianificare, realizzare, monitorare ed in conclusione stabilizzare i processi di cambiamento sia a livello aziendale che personale.

Il cambiamento nasce dall'esigenza di adattarsi all'ambiente esterno in evoluzione.

Il *change management* include sia trasformazioni evolutive che progetti rivoluzionari unici. I primi hanno un approccio graduale al cambiamento cercando di allineare, seppur con molte difficoltà, gli obiettivi personali dei lavoratori agli obiettivi aziendali. I secondi prevedono una trasformazione aziendale o di processo, si tratta di una forma di gestione del cambiamento radicale che mette alla prova diversi elementi del processo.

Per gestire con successo il processo di cambiamento la leadership deve garantire che tutti i membri del team accettino la trasformazione in modo da ridurre la loro resistenza al fine di rendere l'implementazione del cambiamento più efficace facendo così penetrare la nuova cultura desiderata.

Il **modello di Kubler-Ross** inizialmente applicato a cambiamenti di vita di individui che perdevano una persona cara o che gli veniva diagnosticata una malattia grave fu poi adattato al cambiamento manageriale. In generale, le persone, secondo il modello percepiscono il processo di cambiamento in sette step (Kübler-Ross and Kessler, 2005):

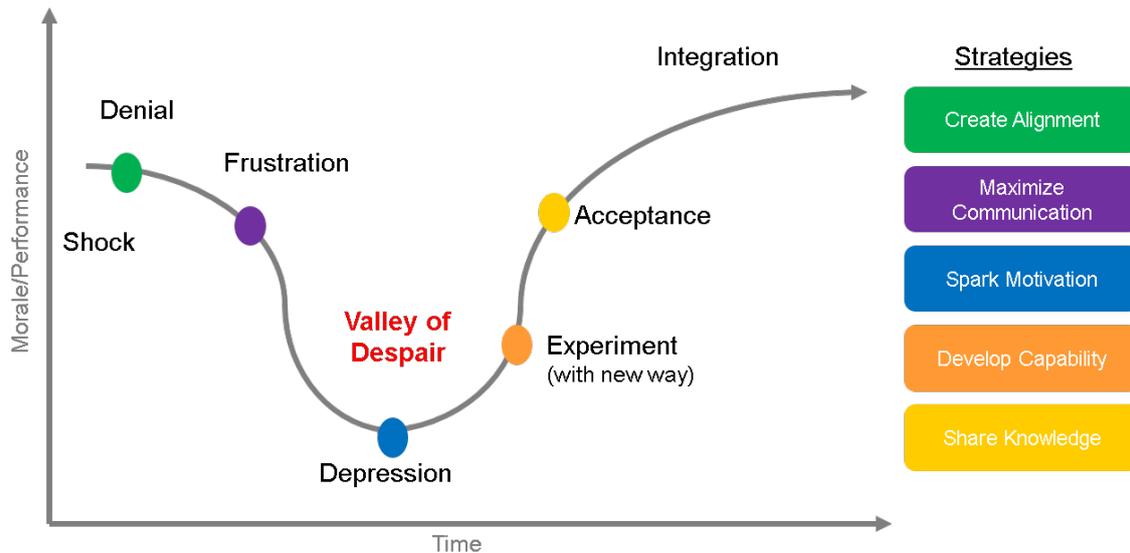


Figura 5.20: Kubler-Ross Change Curve [36]

1. **Shock**, cioè il confronto con situazioni non previste, gli individui percepiscono una diminuzione di competenza che possono creare delle paralisi mentali e senso di disorientamento. Lo shock può essere superato attraverso la motivazione.
2. **Denial**, la negazione e rifiuto del cambiamento, l'individuo si convince che il cambiamento non è necessario poichè non è in grado di elaborare la novità.
3. **Frustration**, frustrazione e Comprensione Razionale, è la fase in cui gli individui si rendono conto del *need for change*, aumentano così il loro livello di frustrazione perchè non hanno intenzione di cambiare le loro abitudini;
4. **Depression** o accettazione emozionale è una fase di profonda crisi che costituisce la più importante dell'intero processo. A questo punto, gioca un ruolo fondamentale il *leader* poichè deve creare una volontà nell'individuo nel cambiare valori, credenze e comportamenti; se questo dovesse accadere, sfruttando il proprio reale potenziale, sarà possibile il processo di cambiamento, altrimenti il *change management* verrà rallentato o procrastinato;
5. **Experiment** o esercizio e Apprendimento, consiste nell'accettazione del cambiamento generando nell'individuo una voglia di conoscenza, perchè, iniziando a conoscere nuovi metodi, provando così nuove esperienze di successo e fallimento. I *change managers*, in questa fase devono cercare di creare delle vittorie rapide, in modo da fare aumentare la loro motivazione, il loro interesse e di conseguenza la loro competenze;

6. **Acceptance** o realizzazione, è la fase in cui si raccolgono maggiori informazioni attraverso l'esercizio e l'apprendimento aprendo le loro menti a nuove esperienze. Questo permette di incrementare la loro flessibilità organizzativa. È la fase in cui si raggiunge un livello mai raggiunto in tutto il processo;
7. **Integration**, fase culmine in cui l'individuo dimostra di aver accettato il cambiamento e i nuovi comportamenti diventano normalità.

### 5.3.1 Il cambiamento in Microtecnica

Quello che emerge a seguito di un'osservazione condotta all'interno dell'azienda stessa è un mix di aspetti positivi e negativi dovute alle azioni in corso per il cambiamento.

Tra gli aspetti negativi che rappresentano a tratti un ostacolo per l'implementazione della *digital transformation* vi è senza dubbio la presenza della *visione artigianale* che ancora persiste in azienda, una visione che non è coerente con le realtà *smart*.

Tra gli altri atteggiamenti negativi riscontrati tra le persone coinvolte spiccavano in alcuni individui interni all'azienda:

- **distacco**, perchè hanno visto il cambiamento, in parte, come un'imposizione senza capire che la trasformazione ha degli effetti positivi anche sul proprio lavoro in termini di sforzo fisico e mentale
- **scetticismo**, perchè come ogni cambiamento mette paura e la reazione è stata *non crederci*, fenomeno che ha rallentato e ostacolato spesso l'evoluzione del processo, proprio a causa dello scetticismo di alcuni individui che hanno dato precedenza ad altro, spesso alcune attività del progetto sono state procrastinate
- **mancanza di comunicazione** tra fornitore del software, reparto IT e *Manufacturing*, in alcuni casi, ci si è ritrovati a compiere determinate attività più volte perchè non si comunicava in modo chiaro con i diretti interessati, cosa che ha provocato diverse difficoltà e che spesso ha determinato errori nel progetto e di conseguenza ritardi

Una buona parte invece si è dimostrata molto entusiasta e propensa ad avviare il processo di digitalizzazione credendoci sin dall'inizio e mettendo sempre a disposizione le loro possibilità durante le prove eseguite.

Le parti in causa comunque hanno partecipato in modo da poter garantire un cambiamento efficace.

## 5.4 Risultati attesi

Con l'implementazione di Solumina G8 allora ci si aspetta che:

1. l'operatore possa accedere in modo immediato nella visualizzazione di disegni, indicazioni e informazioni sui componenti, BOM e piani;
2. la direzione tecnica possa preparare i report per permettere una raccolta efficace e tracciata dei dati relativi ai certificati di collaudo;
3. la qualità o i tecnici dell'ingegneria possano produrre rapidamente vari report a seconda delle informazioni necessarie;
4. non circoli più carta in azienda, se non il minimo indispensabile;
5. si interfacci con gli altri software in modo da non dover effettuare le medesime attività su software differenti;
6. tenere traccia di quanto fatto e di come è fatto;
7. allegare documenti prodotti internamente;
8. basarsi su un sistema di firme elettroniche per compiere le operazioni.

Inoltre, la futura integrazione del MES coi sistemi *Product Lifecycle Management* (PLM) inoltre determinerà una riduzione degli errori sui cicli programmati, questo comporta una riduzione di rilavorazioni con conseguente riduzione dei costi e aumento della qualità.

Per concludere, una perfetta integrazione del MES con il sistema ERP e i sistemi PLM permette di ridurre i *lead-time* di produzione, velocizzare l'intera catena produttiva e renderla *digital*. Di conseguenza, rappresentando il punto di congiuntura tra il mondo della fabbrica e il mondo della pianificazione, l'implementazione di un sistema di questo tipo è una condizione necessaria per l'avanzamento del processo di trasformazione digitale.

Il digitale è ecologico, poco ingombrante, poco costoso, facilmente aggiornabile e condivisibile, tutto dovrebbe essere migrato su digitale, e usare la carta solo quando non se ne può fare a meno.

## Capitolo 6

# Applicazione delle teorie del *project management* al progetto di *Digital Transformation* attraverso Solumina G8

Per rispondere al processo di *digital transformation*, nella gestione, del progetto è stato utilizzato principalmente un approccio tradizionale di tipo *Waterfall* con l'ausilio di alcuni strumenti della metodologia *Agile*, tornati utili in termini di implementazione del software. La combinazione degli strumenti utilizzati ha permesso di ridurre i rischi e di ottenere un guadagno in termini di esperienza, apprendimento e investimento di tempi e risorse.

Nel presente capitolo, dopo aver descritto l'approccio utilizzato, richiamando le caratteristiche di progetto della Tabella 1.1 del Capitolo 1, e dopo aver delineato la *Project Governance* e la struttura organizzativa del progetto, sono state introdotte le attività di gestione del progetto. Alle attività in esame, gestione dei cicli ed esecuzione dei test, sono stati applicati gli strumenti tradizionali del *project management*, la *work breakdown structure* (WBS), la *organization breakdown structure* (OBS), la matrice di assegnazione di responsabilità (RAM), *velocity chart*, il reticolo di progetto, Il diagramma di Gantt.

Nel complesso invece, al progetto *Pilot*, sono stati applicati strumenti come registro dei rischi, analisi dei rischi, analisi dei costi, monitoraggio dei costi, monitoraggio delle risorse, *burndown chart*.

## 6.1 Approccio utilizzato

L'approccio utilizzato nel contesto aziendale è di tipo *Waterfall* con l'utilizzo di alcuni strumenti e tecniche del metodo *Agile*, come anticipato nella descrizione del capitolo.

Nonostante per il progetto siano state seguite le linee guida dell'approccio tradizionale, trattandosi dell'implementazione di un software che avrebbe coinvolto più reparti aziendali, sono stati utilizzati strumenti tipici dell'*Agile*, ad esempio il *burndown chart* o il *velocity chart*, brevi ma numerose iterazioni, *stand-up* giornalieri e integrazioni continue in base ai risultati ottenuti dalle iterazioni. Tutto questo senza però cambiare il modello tradizionale di *Waterfall*, infatti il piano generale è stato suddiviso in fasi, dove per ognuna di queste si doveva attendere la fine per iniziare la successiva.

Per chiarire l'approccio utilizzato nel progetto in esame, sono stati analizzati e schematizzati nella Tabella che segue alcuni degli aspetti presenti nella Tabella 1.1.

Alcune caratteristiche come analisi dei rischi, *testing* e organizzazione, non sono contenute nella Tabella seguente poichè sono state affrontate in modo più approfondito nei paragrafi successivi.

	<i>Pilot</i>
<b>Definizione e prioritizzazione dei requisiti</b>	<p>Non c'è stata una vera e propria definizione dei requisiti in fase di avvio del progetto, perchè, trattandosi di implementazione di un software, ne sono stati definiti una minima parte all'avvio del progetto, mentre gli altri sono stati definiti in fase di avanzamento. Inoltre, ogniqualvolta ne veniva identificato uno, si attribuiva a questo un livello di prioritizzazione. Tra i requisiti individuati nella fase di avvio vi sono:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• la concezione della trasformazione digitale più come trasformazione del modello di <i>business</i> che come progetto tecnologico;</li><li>• presenza di risorse con un adeguato mix di competenze in ambito informatico e meccanico.</li></ul>
<b>Feedback</b>	<p>Il feedback è stato continuo dall'inizio alla fine, il team si è sempre consultato quasi giornalmente su quanto fatto e su quello che vi era in programma, inoltre settimanalmente ci si riuniva per aggiornarsi in modo ufficiale sullo stato di avanzamento del progetto e su potenziali modifiche che avrebbero migliorato le attività.</p>

---

<b>Misurazione delle prestazioni</b>	<p>Nella gestione del progetto sono stati identificati alcuni KPI (<i>Key Performance Indicators</i>) che hanno permesso di monitorare e misurare le prestazioni del progetto stesso.</p>
	<p>I principali KPI monitorati sono stati:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>funzionalità implementate verificate/funzionalità totali</b>, il KPI in questione ha permesso di monitorare l'efficienza del progetto a seguito delle varie iterazioni;</li> <li>• <b>open point aperti/open point totali</b>, è un valore numerico che dà informazioni su quanti punti aperti vi sono ancora per la realizzazione del progetto; ha inoltre permesso di valutare, anche se non in maniera esatta, il carico di lavoro complessivo da eseguire e la tracciabilità del <i>burndown chart</i>;</li> <li>• <b>somma attività eseguite/somma attività totali</b>, il valore rappresenta lo stato di avanzamento totale permettendo così di valutare la completezza del progetto;</li> <li>• <b>n_deadlines scadute</b>, una spia per valutare quante sono state rispettate o meno in termini di tempo.</li> </ul>
<b>Andamento</b>	<p>L'andamento generale è di tipo sequenziale, in fase di pianificazione sono state individuate sette fasi che si susseguono, ognuna delle quali produce un <i>passport</i> contenente i <i>deriverables</i> della fase 6.1.</p>
	<p>In corso di esecuzione però, ogni fase subiva una pianificazione di tipo dinamico in cui si rielaboravano le attività predefinite.</p>
<b>Processo</b>	<p>È di tipo iterativo poichè durante l'implementazione è stato necessario svolgere brevi iterazioni per verificare il buon funzionamento così da poter proseguire verso le attività successive.</p>
	<p>Nonostante la <i>visibilità</i> limitata durante l'esecuzione il team è stato pronto a gestire una notevole quantità di <i>rework</i> superiore rispetto a quella attesa.</p>

---

<b>Cambiamenti</b>	<p>Nella gestione del progetto vi sono stati una serie di cambiamenti che hanno rivoluzionato i piani iniziali.</p> <p>Spesso ci si rendeva conto che quello che era stato pianificato non andava bene per cause esterne o interne, per cui applicare un cambiamento sarebbe stata la cosa migliore da fare ed il team in questo ha saputo reagire bene perchè, seppur con qualche difficoltà iniziale, è stato in grado di adattarsi velocemente.</p>
<b>Coinvolgimento fornitore</b>	<p>Il fornitore del software, è stato coinvolto per tutta la durata del progetto anche se non direttamente poichè l'<i>IT Corporate</i> fungeva da filtro tra il fornitore e l'azienda.</p> <p>Il fatto di avere un filtro per comunicare direttamente con il fornitore ha rallentato il processo a differenza di quanto previsto, la scelta del filtro avrebbe dovuto aggiungere valore velocizzando i flussi di informazione.</p>
<b>Leadership</b>	<p>La <i>leadership</i> nel processo di <i>digital transformation</i> è stata in grado di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• produrre valore più che rispettare i vincoli, infatti sono state richieste risorse aggiuntive e modifiche dei tempi predeterminati,</li> <li>• gestire le attività pianificate adattandosi però ai continui cambiamenti che si presentavano.</li> </ul> <p>È stata guidata dal <i>project manager</i> per tutta la durata del progetto.</p>
<b>Tempo e risorse</b>	<p>Sono variabili poichè in fase di esecuzione è stato necessario implementare le risorse per il caricamento dei dati e l'esecuzione dei test, per il <i>manufacturing engineering</i> sono state richieste delle risorse aggiuntive per il caricamento delle <i>work instruction</i> sul software, successivamente in Direzione Tecnica per il caricamento dei verbali di collaudo dato che le risorse a disposizione non erano sufficienti</p> <p>Stessa cosa per i tempi, questi sono stati variabili, infatti ne è una dimostrazione lo spostamento continuo del <i>Go Live</i>.</p>

Tabella 6.1: Gestione di alcuni aspetti del progetto

Per il progetto sono state individuate sette fasi, ogni fase, ad eccezione dell'ultima, produce un *passports* contenente i *deriverables* della fase conclusa. Le sette fasi individuate sono:

1. *Opportunity*;
2. *Concept/Requirements Testing*;
3. *Data Conversion and Design*;
4. *Development*;
5. *Production Readiness*;
6. *Implementation*;
7. *Maintenance*.

Nella Figura 6.1 si riassume lo schema di quelle che sono le fasi del progetto in sequenza e i rispettivi *passport* o *deriverables* con un contenuto tangibile e verificabili in termini di adeguatezza a determinate specifiche e standard per il completamento.

Dalla struttura del *plane with output* si deduce che le prime cinque fasi sono coinvolte nell'implementazione del progetto Pilota.

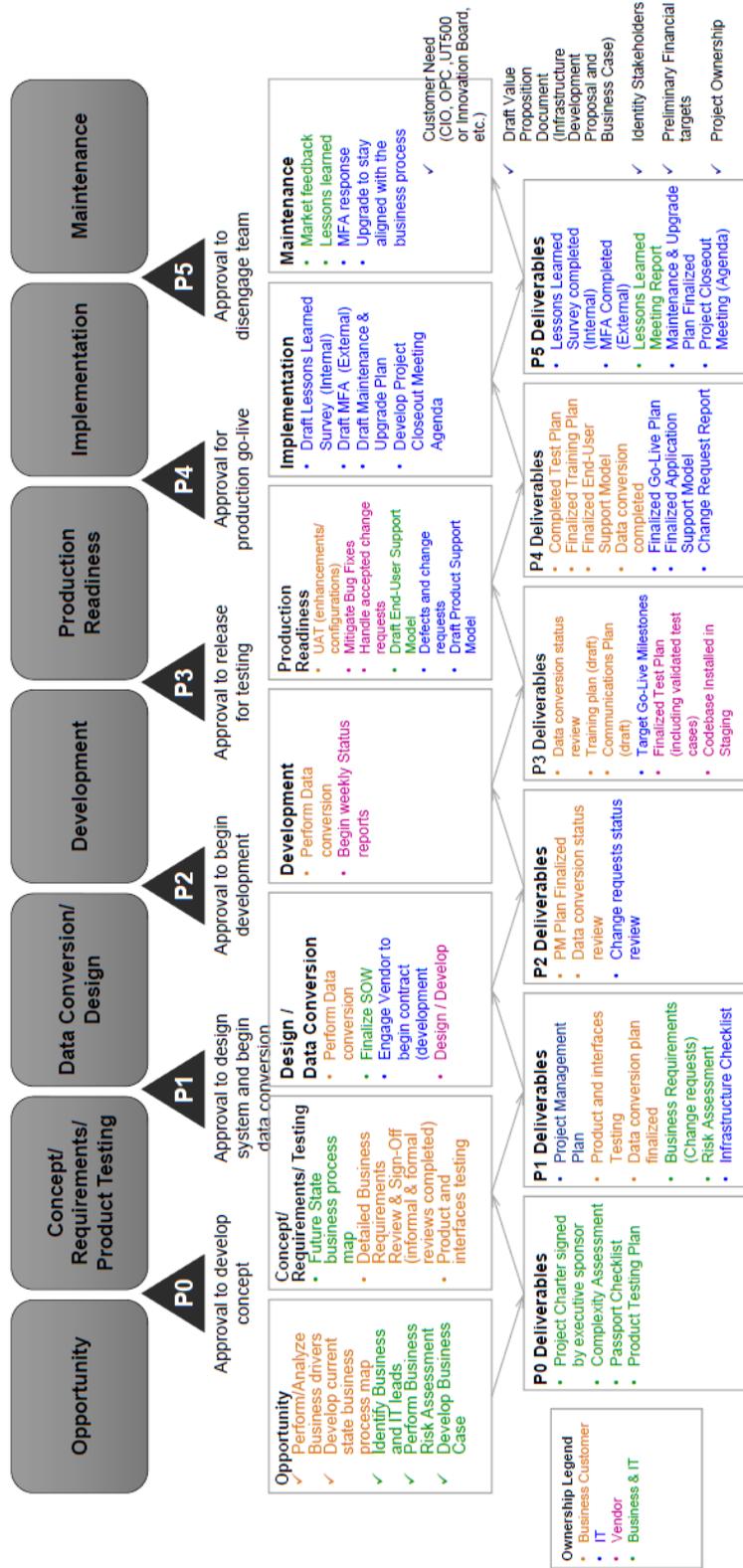


Figura 6.1: Solumina plane con output

## 6.2 Struttura Organizzativa e *Project Governance*

L'organizzazione del processo di implementazione è aricolata secondo lo schema in Figura 6.2, al vertice vi è lo *Steering Committee* costituito da l'amministratore delegato dell'azienda e dai tre direttori di stabilimento che ricoprono rispettivamente il ruolo di committente e clienti finali, a seguire vi è il *project manager business* del progetto affiancato da un *project manager IT*, quest'ultimo fa parte del *IT Corporate team* che funge da filtro tra il fornitore del software e il *project manager IT*.

Il *project manager business* gestisce le attività dell'intero progetto che coinvolge però nella fase Pilota: reparto Qualità, IT, Direzione Tecnica, Ingegneria di Produzione e Cella spazio. Ogni reparto ha un *key user* coinvolto.

Anche se la struttura è gerarchica, si è lavorato molto con gruppi auto-organizzati e auto-disciplinati sempre sotto la supervisione del *project manager*.

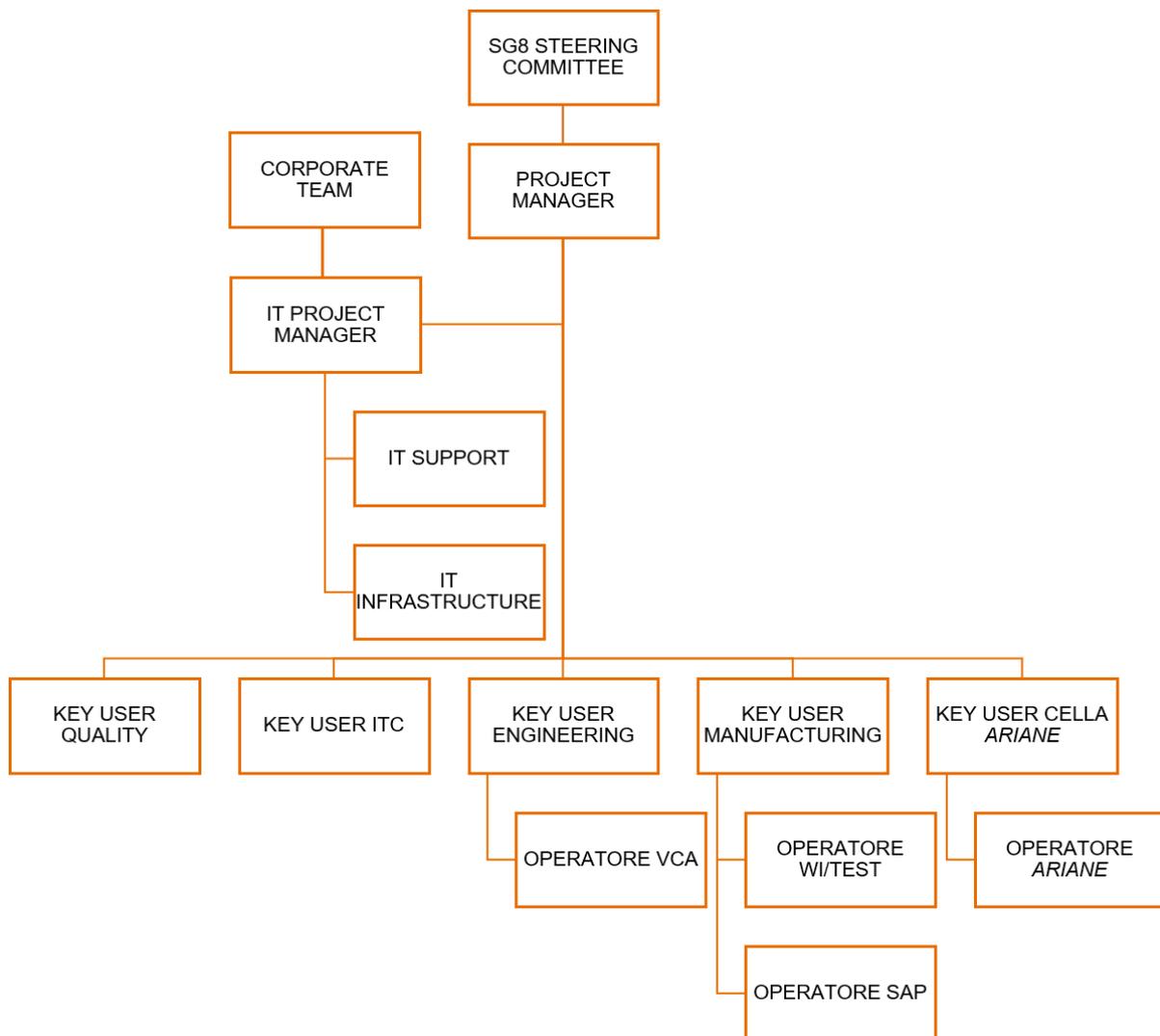


Figura 6.2: Struttura organizzativa coinvolta nel progetto Pilota

Il *project success* è stato largamente affrontato, sia dal punto di vista della gestione che del progetto con le sue caratteristiche di unicità.

Nella gestione del progetto sono stati ritenuti essenziali fattori ulteriori rispetto a quelli tradizionali, quali il contesto, il supporto del fornitore, la relazione e la comunicazione con lo *Steering Committee*, più in generale il variegato rapporto con la molteplicità degli *stakeholder*. Una buona *governance* di progetto ha un effetto positivo sia sul successo della gestione del progetto che sul successo del progetto come *unicum* [16].

La *governance* allora, in termini generali, può essere vista come un sistema che definisce le strutture utilizzate dall'organizzazione, stabilisce diritti e responsabilità e assicura l'efficacia ed efficienza del processo di gestione all'interno di queste strutture. Gli aspetti con cui la *governance* ha a che fare coinvolgono ruoli e responsabilità operative, responsabilità finale, divulgazione e trasparenza, gestione del rischio e controllo, etica decisionale, prestazioni ed efficacia, strategie (Crawford e Cooke-Davies, 2006).

La *governance* quindi definisce la struttura per la gestione di un'organizzazione, focalizzandosi sulla relazione con gli *stakeholder* interni ed esterni, sul controllo e su una visione strategica ed olistica [16].

La *governance* del progetto consiste nel creare un contesto in cui il *management* prenda delle decisioni che possano esaudire le richieste, ma soprattutto le aspettative, degli *stakeholders* e permettere alle organizzazioni di essere coerenti con la strategia aziendale e ottimizzare il valore che si può ottenere dal risultato di un progetto (PMBok, 2013).

Nella gestione del progetto allora, osservando la Figura 6.3 si estrapola la struttura della *Governance* di progetto, costruita dai quattro team che seguono:

- Il **Meeting Interno Microtecnica**, coinvolge i vari reparti aziendali interessati al progetto di *digital transformation*, Ingegneria di Produzione, Direzione Tecnica, IT, Ufficio Qualità e Cella Spazio. Il gruppo si riuniva con cadenza settimanale in riunioni per fare il punto della situazione, qui si riportavano eventuali problemi riscontrati e potenziali migliorie o modifiche da potere apportare al progetto;
- Il **Solumina Team work** è costituito principalmente dagli operatori dell'Ingegneria di Produzione: un tecnico SAP, un esperto di cicli di produzione e tre stagisti che hanno gestito il caricamento dei cicli della cella *Ariane* su Solimina. Oltre agli operatori del M.E. vi sono anche: tre ingegneri della Direzione Tecnica e un opera-

tore dell'Ufficio IT.

Il team Solumina ha lavorato per tutta la durata del progetto collaborando quotidianamente e gestendo il lavoro da fare giorno per giorno. Inoltre, la presenza di *open space* e della vicinanza tra i componenti del gruppo in un'isola dedicata al progetto, ha favorito la comunicazione interna, l'interazione tra colleghi nell'ottica di un maggiore scambio di idee e di risoluzione di problemi che si presentavano;

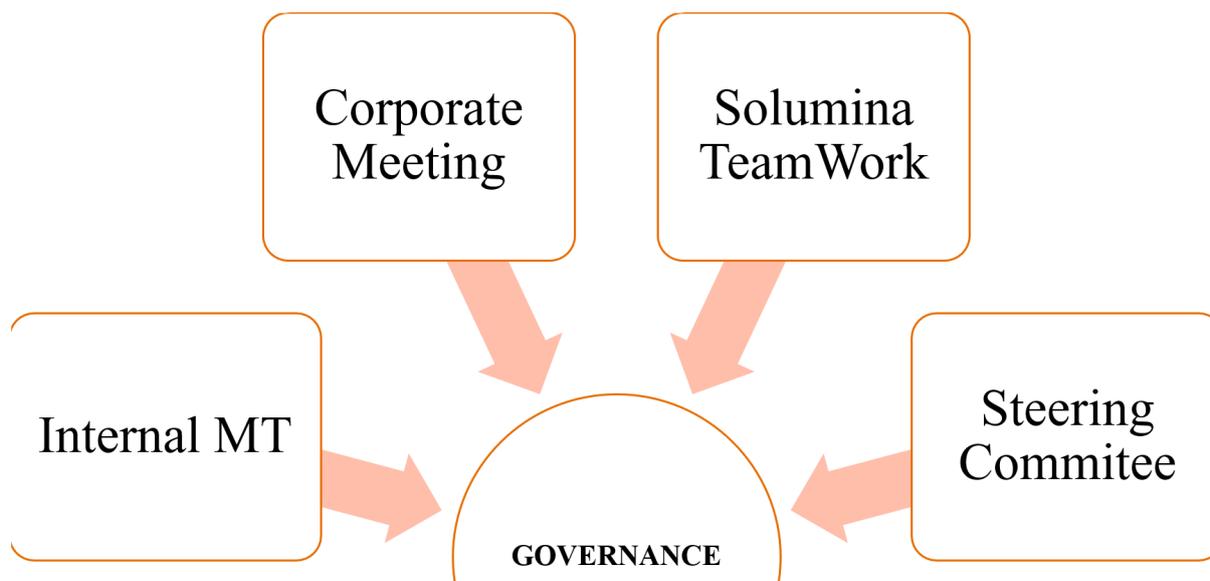


Figura 6.3: Struttura della *Governance*

- Il **Corporate Meeting IT**, coinvolge l'IT, il fornitore del software Solumina G8 e l'*IT Corporate*, per qualsiasi chiarimento o problema legato al software, l'*IT Corporate* ha fatto da filtro tra l'Ufficio IT che individuava le esigenze aziendali e il fornitore del software. In questo modo sono stati risolti vari problemi legati alle installazioni di alcune funzioni, alla lingua del software, alle interfacce con gli altri software presenti in azienda ed ad altri problemi anche di lieve entità che si sono presentati durante l'esecuzione del progetto;
- Lo **Steering Commitee** è costituito dai membri interni del progetto che sono oltre che committenti anche clienti finali, lo *Steering Commitee* è costituito dall'amministratore aziendale (committente e cliente finale) e dai tre direttori di stabilimento (clienti finali), il comitato direttivo si riuniva con cadenza periodica

solitamente coincidente con la fine di una fase e la definizione del *passport*. In questa riunione si effettuano le valutazioni dei tempi e dei costi,

Il project manager business è coinvolto in tutti e quattro i gruppi.

In conclusione, possiamo dire che il bisogno di governance esiste non solo a livello di organizzazione, ma anche a livello di progetto. La governance di progetto e quella aziendale devono coesistere e la relazione fra di esse è fondamentale non solo per ottenere il successo del progetto in sé, ma anche per lo sviluppo di lungo termine dell'organizzazione che implementa i progetti. Pur nella diversità di approcci e di opinioni riguardo al concetto di governance del progetto, è ormai pacificamente riconosciuto che questa rende realmente fattibile un progetto e porta valore a tutti gli stakeholder.

### 6.3 Introduzione dell'attività

Data la lunghezza del progetto solo la parte del *Pilot* è stata seguita e gestita a supporto del project manager.

Per iniziare l'attività di project management è stato sviluppato un diagramma di Gantt in cui è stato strutturato macroscopicamente il progetto nella sua interezza con le relative durate stimate delle attività (Figura 6.4).

Il progetto è strutturato secondo otto macrofasi identificate con le prime lettere maiuscole dell'alfabeto: A, B, C, D, E, F, G e H.

Si parte con la fase in cui si implementa il progetto Pilota, a seguire sarà effettuata l'implementazione sulla *Cella dei Martinetti*, facente parte del reparto OEM *High Runner*, e sul reparto dei *Low Runner*, seguita, parzialmente in parallelo, dall'implementazione negli altri due siti, Luserna San Giovanni e Brugherio.

La gestione del progetto Pilota consta di tre attività fondamentali:

1. la gestione dei cicli di lavorazione e l'esecuzione dei test;
2. la gestione del caricamento dei certificati di collaudo o VCA;
3. la gestione delle infrastrutture hardware per l'implementazione del progetto;

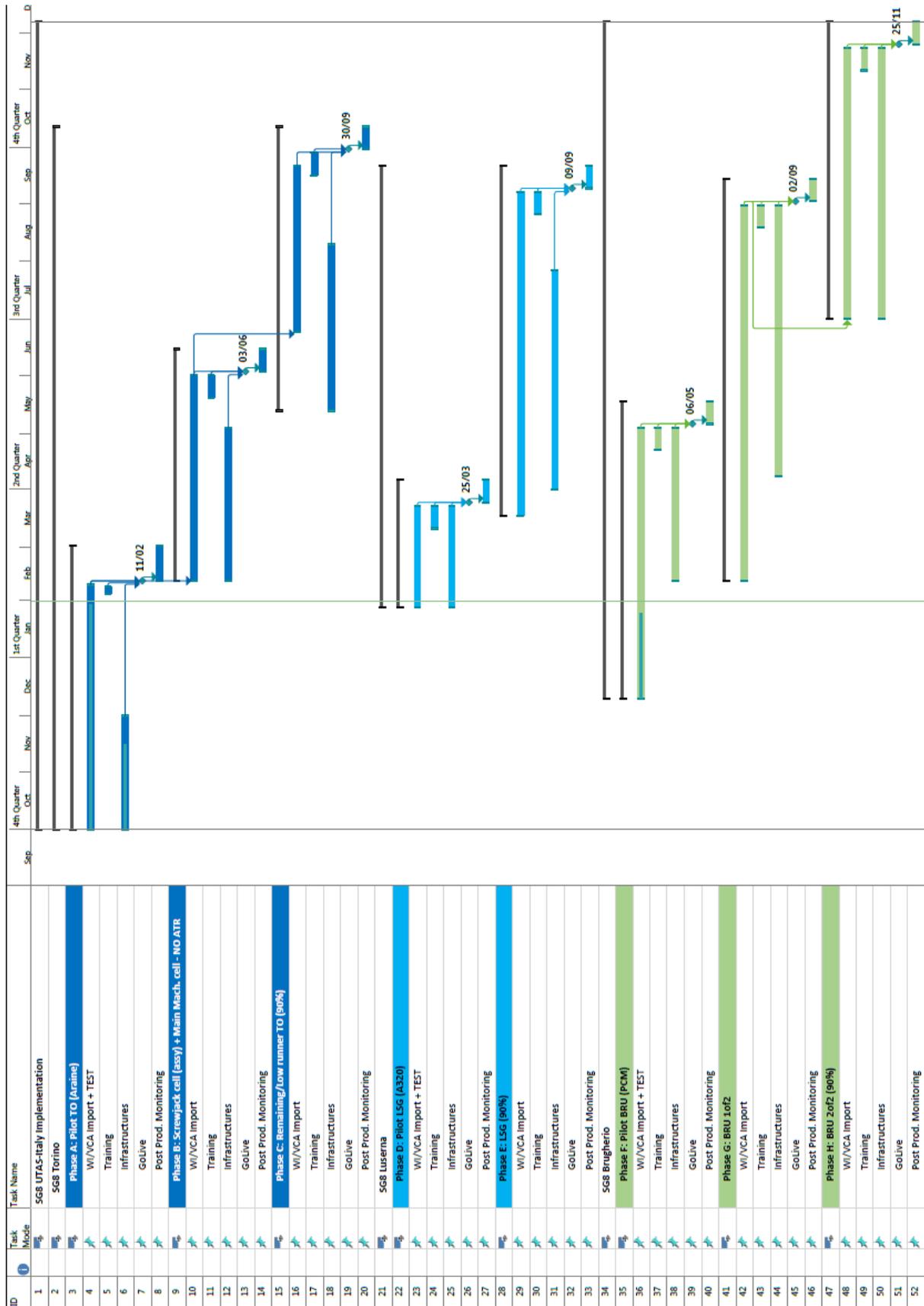


Figura 6.4: Overall Master Schedule

Dopo le fine delle tre attività fondamentali seguirà l'evento *Go Live* in cui il software verrà ufficialmente utilizzato anche se affiancato in una prima fase ad una gestione dell'ordine tradizionale in cui sarà utilizzata ancora la carta, questo periodo è stato nominato *paper-lite*.

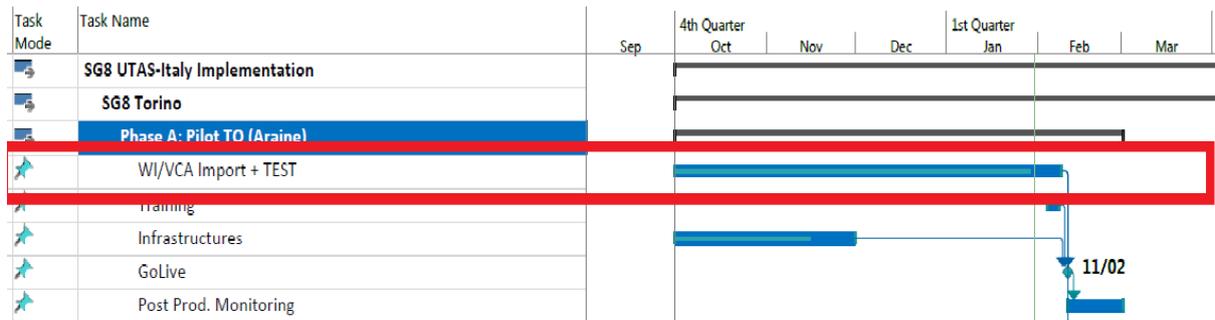


Figura 6.5: Schedulazione delle attività gestite

Le tre attività fondamentali sono state gestite rispettivamente da Ingegneria di Produzione o *Manufacturing Engineering* (ME), Direzione Tecnica e Ufficio IT.

Al progetto di tesi, essendo stato svolto presso il reparto ME, sono stati applicati gli strumenti alla pianificazione e alla gestione del caricamento dei cicli di lavorazione e l'esecuzione dei test (Figura 6.5), sono stati applicati strumenti del project management come: WBS, OBS, RAM, Gantt, Reticolo e grafici di monitoraggio. L'analisi del rischio e l'analisi dei costi invece sono state applicate al progetto *Pilot* nel suo complesso.

Del *Pilot* inoltre, è anche stata eseguita l'attività di monitoraggio e controllo mediante grafici che hanno tenuto in considerazione l'andamento del progetto mediante raggiungimento di obiettivi costruendo mano a mano un *Burndown Chart*.

Nei seguenti paragrafi verranno spiegate nel dettaglio le due attività che costituiscono il lavoro di tesi, la gestione dei cicli di lavorazione e l'esecuzione dei test.

Si tratta di due attività fondamentali che hanno costituito la parte *core* del processo di implementazione del MES nel suo complesso, poichè la prima ne ha determinato il popolamento mentre la seconda ne ha verificato il corretto funzionamento.

### 6.3.1 Gestione dei cicli di lavorazione

I cicli di lavorazione, chiamati anche *work instruction* (WI), contengono le istruzioni su come eseguire una procedura, questa, a sua volta, è caratterizzata da indicazioni, specifiche, strumenti e unità di misura. Il WI allora, non è altro che una linea guida dettagliata sull'esecuzione di un processo.

Nell'implementazione del progetto Pilota sarebbero dovuti essere caricati tutti i cicli della cella *Ariane*, circa 250, attraverso un *tool* di migrazione automatica che avrebbe permesso di caricarli sul software Solumina G8 prendendoli da quello utilizzato in precedenza. A seguito però di alcuni errori di codice è stato generato un ritardo nella consegna che ha determinato un caricamento manuale e massivo dei 250 cicli della cella spazio.

Per il caricamento manuale sono state assunte delle risorse aggiuntive nel reparto di Ingegneria di Produzione, una da settembre e altre due da ottobre, oltre quelle già presenti, che si sarebbero occupate del caricamento manuale dei cicli in attesa della migrazione automatica dopo una breve formazione da parte del *key user* del reparto.

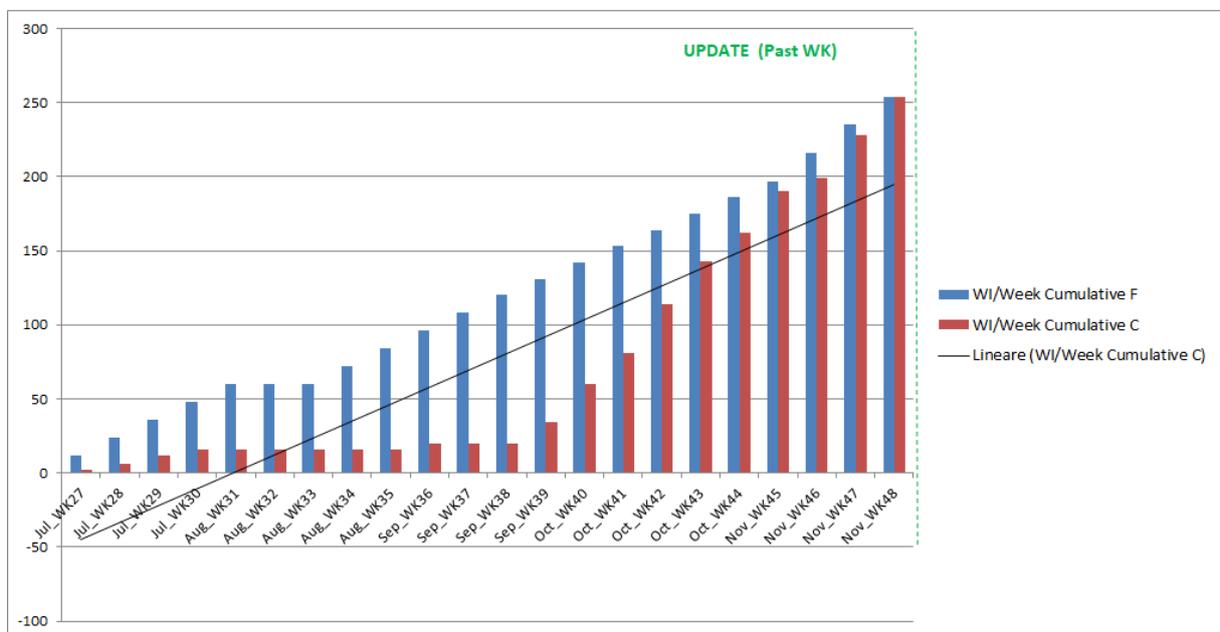


Figura 6.6: *Velocity Chart* dei WI

L'attività di caricamento è stata monitorata settimanalmente mediante *Velocity Chart* (Figura 6.6), questo ha dato un impatto visivo importante poichè mostrava la somma delle stime del lavoro consegnato attraverso tutte le iterazioni.

Dal grafico in Figura 6.6 si può notare infatti, come, inizialmente il caricamento sia stato distribuito uniformemente a partire dall'ultima settimana di luglio sino a fine ottobre, però a causa dei ritardi legati all'arrivo del *tool* di migrazione, l'attività è rimasta bloccata sino a fine settembre. Quando ci si è resi conto del ritardo non calcolabile del *tool* si è deciso di caricare manualmente i cicli, si nota infatti come a partire dalla prima settimana di ottobre si ha un notevole aumento del numero cicli caricati, permesso dall'arrivo delle risorse.

Ad attività iniziata però, si sono presentati una serie di problemi che hanno rallentato il processo di caricamento, tra questi:

- l'interfaccia con SAP non era completa, infatti vi è stata una migrazione parziale e non totale delle informazioni che sarebbero dovute essere caricate su Solumina, di queste non migravano nè le lettere di revisione nè le *Bill of Material* delle parti;
- il software era settato in lingua inglese, questo ha creato dei *bug* a seguito del conflitto con la lingua italiana del PC.

Dopo aver risettato il software nella lingua corretta e aver risolto i problemi di interfaccia con SAP, è stata ripresa l'attività di caricamento cicli.

Ogni ciclo dopo essere stato caricato è stato validato dal *key user* dell'Ingegneria di Produzione e rilasciato sul software. Dopo il rilascio non è più possibile apportare modifiche se non lanciando una nuova revisione del ciclo.

Il caricamento dei cicli è stata un'attività lunga e travagliata perchè nella fase di inserimento sul software, non solo è stato copiato il ciclo operazione per operazione ma si è cercato di digitalizzarlo al meglio dato che la carta non sarebbe stata più utilizzata. Infatti, è stata inserito il collezionamento dei dati, sia semplice che calcolato, sono state *linkate* le specifiche richieste nelle singole operazioni, sono stati inseriti i *buyoff* per ogni operazione, sono stati inseriti i disegni tecnici e dove possibile anche dei video di supporto all'operatore. Grazie alla gestione di caricamento dei cicli sono state individuate delle procedure standard che faciliteranno di certo il caricamento del resto dei cicli nelle celle rimanenti.

### 6.3.2 Gestione dei test

Il *testing* nel progetto è stato continuo e ha coinvolto i diversi reparti aziendali, è stato svolto su una versione test di Solumina G8, questo ha permesso di prevenire eventuali eventuali che si sarebbero presentati in fase di produzione.

Rimandare i test a fine progetto, per la tipologia del progetto stesso, sarebbe stato inaccettabile ed antieconomico, per cui, sin dall'inizio, sono stati effettuati una serie di test per verificare il corretto funzionamento del software.

I test eseguiti sono stati di tre tipi:

1. gli **script**, definiti dalla *Corporate*, sono dei test che contengono una serie di istruzioni da eseguire sul sistema per verificare che funzioni, gli script sono relativi alle modifiche ciclo, all'interfaccia con SAP, alla connessione con Autotime 7 e al rilevamento delle ore-lavoro, al funzionamento di xClass, alla gestione delle *Quality Notification*, degli *split* dell'ordine di lavoro, delle *alteration* del ciclo di lavorazione, alla gestione dell'emissione materiale, alla stampa dei report, alla comunicazione degli *alert* in corso di lavoro e alla gestione delle lavoazioni esterne.  
In totale gli script test sono 26, di questi solo 23 sono stati eseguiti ai fini del progetto Pilota.
2. i **test interni Microtecnica** hanno simulato gli ordini di lavoro da inizio a fine degli ordini su un ciclo dello spazio, il test è stato suddiviso in step, ogni step corrispondeva all'operazione del ciclo selezionato.
3. ed **altri test**, relativi alla gestione delle immagini, dei collaudi di verifica, della raccolta ore, della gestione dei VCA, dell'acquisizione dei dati delle macchine e relativi ad alcune funzioni presenti sul software che avrebbero potuto facilitare attraverso la digitalizzazione i processi aziendali.

Lo stato di avanzamento della gestione dei test è stata monitorata da istogrammi che hanno tenuto in considerazione lo stato di avanzamento dell'esecuzione dei test.

I test ancora in *WIP*, *Work in Progress*, non sono fondamentali ai fini del *Go Live*.

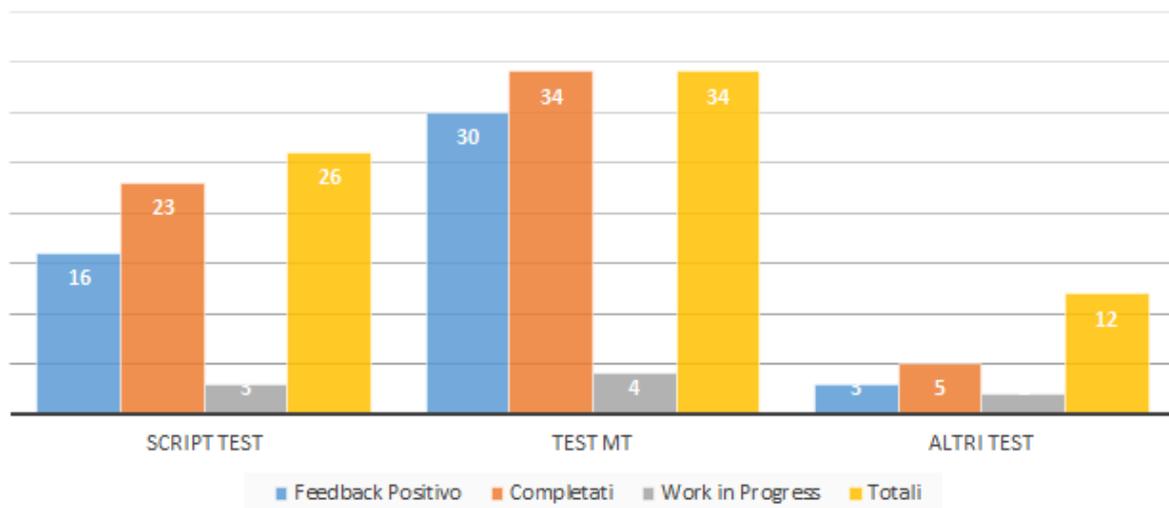


Figura 6.7: Gestione dei test

L'obiettivo del progetto, come anticipato, è quello di definire il project plan di quelle che sono le attività che riguardano il caricamento dei cicli sul software e la gestione dei test. Della parte interessata sono stati utilizzati gli strumenti a disposizione che garantiscono un forte vantaggio per la pianificazione.

Come scritto all'inizio del paragrafo, tutta la parte relativa alla gestione dei test è stata eseguita su *Solumina G8 test* per non contaminare l'ambiente di produzione nel caso in cui qualcosa fosse andata male.

## 6.4 Strumenti di supporto alle attività

All'inizio del capitolo è stato precisato che è stato utilizzato l'approccio tradizionale e di questo gli strumenti principali, si descrive allora, nel seguente paragrafo, la loro applicazione alle attività interessate. Gli strumenti utilizzati sono stati spiegati dal punto di vista teorico nel Capitolo 1 relativo alla letteratura del progetto tesi, nei paragrafi successivi saranno applicati e commentati brevemente.

Una parte tra gli strumenti del *project management*, WBS, OBS, RAM, diagramma a barre di Gantt e tecniche reticolari, è stata utilizzata nelle attività di gestione dei cicli e dei test. Le attività di gestione dei certificati di collaudo e gestione delle infrastrutture, essendo delle attività semplici rispetto alle due in esame, non sono state analizzate e scomposte in sotto attività, queste sono state attribuite a due *key user*, rispettivamente della Direzione Tecnica e dell'Ufficio IT, i quali hanno svolto l'attività gestendola in parallelo.

Al progetto nel complesso invece, quindi a tutte le attività che costituiscono il progetto *Pilot*, sono stati applicati strumenti come analisi, gestione e *monitoring* dei rischi, dei costi e delle risorse e il *Burndown chart*, quest'ultimo preso in prestito dalla metodologia *Agile*.

### 6.4.1 *Work Breakdown Structure*

La *Work Breakdown Structure* o WBS è un diagramma ad albero che permette di visualizzare e descrivere tutte le parti di un progetto che devono essere realizzate a diversi livelli di dettaglio e i relativi compiti funzionali che devono essere eseguiti per realizzarle completamente.

La WBS è uno strumento fondamentale per una corretta pianificazione del progetto, è stata realizzata analizzando il flusso di attività che costituivano la gestione dei cicli e dei test secondo la logica degli obiettivi, cioè è stata eseguita una scomposizione secondo *milestone* collocate nel tempo.

Applichiamo la WBS al progetto Pilota, scomponendo le attività, ove possibile in sotto attività:

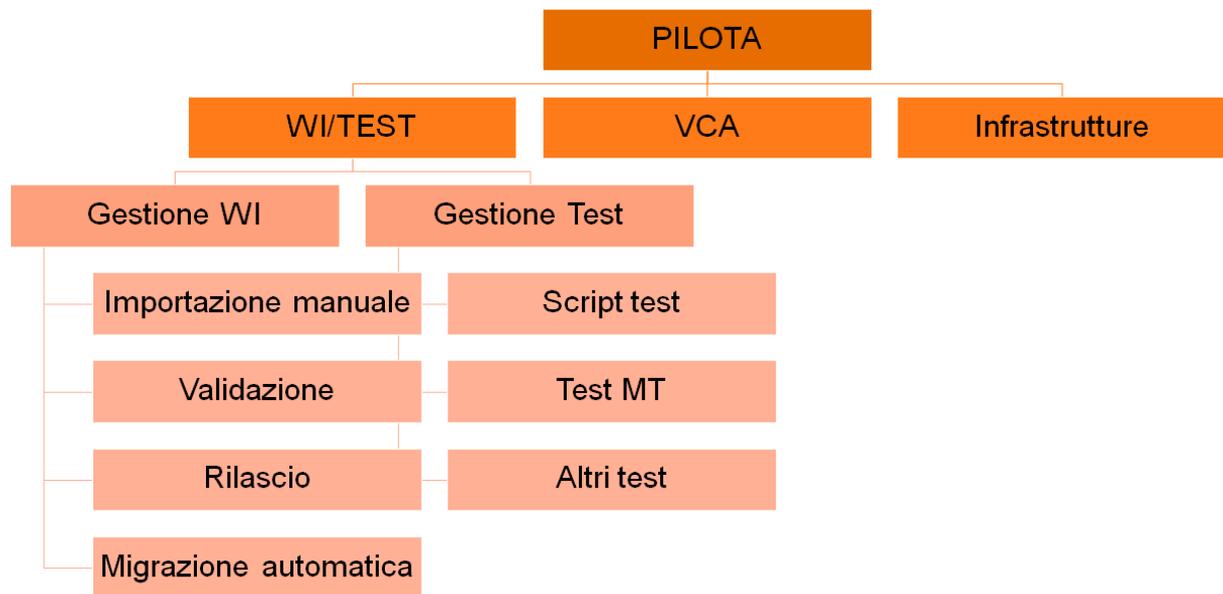


Figura 6.8: *Work Breakdown Structure* del progetto Pilota

Progetto di caricamento WI ed esecuzione Test:

1. Gestione *Work Instruction*

- (a) **Importazione manuale**, caricamento dei dati sul software aziendale
- (b) **Validazione**, dei dati caricati sul software
- (c) **Rilascio**, dei dati caricati e validati per poter eseguire eventuali ordini
- (d) **Migrazione Automatica** e massiva dei dati

2. Gestione Test

- (a) **Script test**, definiti dalla *Corporate* per verificare funzionalità del software
- (b) **Test di simulazione**, degli ordini di lavoro per verificare eventuali anomalie
- (c) Altri test di funzionamento, per verificare procedure relative a particolari funzionalità del software come sdoppi degli ordini di lavoro, raccolta delle ore lavoro, caricamento dei file in 3D

3. **Gestione dei VCA**, la digitalizzazione su pagine di foglio elettronico dei certificati di collaudo;

4. **Gestione delle Infrastrutture**, ovvero l'installazione dei dispositivi hardware e software che permetteranno l'implementazione del software,

## 6.4.2 Organization Breakdown Structure

Una Organization Breakdown Structure è un organigramma di progetto volto ad identificare tutti gli attori coinvolti nel progetto o in una determinata attività. Il grado di dettaglio della OBS dipende dalla complessità del progetto.

L'OBS si posiziona logicamente dopo la WBS, infatti, dopo aver effettuato un'analisi delle fasi e delle attività (*Work Packages*) di cui si compone un progetto, è possibile assegnare ciascuna ad un responsabile che ne garantisca la realizzazione nei modi, nei tempi e nei costi previsti. L'OBS del progetto dunque, chiarisce quali sono i soggetti coinvolti.

Nella gestione delle *work instruction* e dei test gli attori coinvolti sono indicati nella Figura 6.9, l'OBS è stata strutturata avendo diviso per reparti e per ognuno di questi sono stati individuati gli attori del progetto che hanno svolto le attività individuate nella WBS.

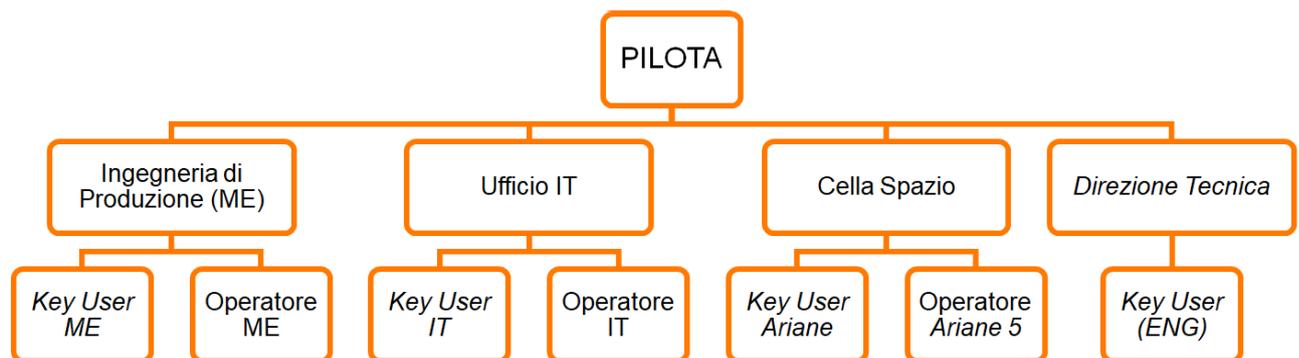


Figura 6.9: Organization Breakdown Structure del Pilota

I reparti coinvolti nel progetto Pilota e i relativi utenti sono:

- Ingegneria di Produzione
  - *key user* ME è l'utente principale del reparto *Manufacturing* che si è occupato principalmente della validazione e del rilascio dei dati caricati sul MES
  - operatore, individuo di supporto al *key user* nello svolgimento delle attività e addetto al caricamento dei dati sul software
- Ufficio IT
  - *key user* IT, corrisponde alla figura del *project manager IT*, si è occupato principalmente dell'installazione delle varie funzioni del software, della gestione

del *tool* relativo alla migrazione automatica e dei vari *bug* individuati in fase di implementazione

– operatore, è stato di supporto al *key user* IT, si è occupato della gestione dell'installazione del software ai vari utenti coinvolti e delle infrastrutture hardware

- Cella Spazio

– *key user* della cella *Ariane* è il responsabile della cella che ha fornito le linee guida per la digitalizzazione del processo stesso e si è occupato insieme agli operatori dell'Ingegneria di produzione di eseguire i test interni che simulavano l'esecuzione degli ordini di lavoro

– operatore della cella ha lavorato come supporto al *key user* nell'esecuzione dei test;

- Direzione Tecnica

– *key user*, si è occupato principalmente di caricare su fogli elettronici i certificati di collaudo per poi poterli migrare o copiare sul nuovo software.

### 6.4.3 Responsibility Assignment Matrix

La *Responsibility Assignment Matrix* o RAM costituisce un importante strumento a supporto della pianificazione di progetto, la RAM integra le informazioni della WBS alla OBS definendo *chi fa che cosa* (Figura 6.10).

			OBS						
			Ingegneria di Produzione (ME)		Ufficio IT		Cella Ariane		Direzione Tecnica
			Key User ME	Operatore ME	Key User IT	Operatore IT	Key User Ariane	Operatore Ariane	Key User ENG
WBS	Gestione	Importazione Manuale		●					
		Validazione	●						
		Rilascio	●						
		W I Migrazione Automatica			●				
	Gestione	Script Test	●						
		Test interni					●		
		Altri test	●						
	Gestione VCA								●
	Gestione Infrastrutture					●			

Figura 6.10: *Responsibility Assignment Matrix* del progetto Pilota

La RAM dunque obbliga ad assegnare una responsabilità univoca e nominale per ciascuno degli elementi di lavoro individuati nella WBS. La matrice permette di definire le responsabilità nella fase di progetto.

## 6.4.4 Diagramma a barre di Gantt

Il Diagramma di Gantt è un grafico composto da barre orizzontali di lunghezza variabile che rappresentano la sequenza, la durata e l'arco temporale di ogni singola attività del progetto individuata dalla WBS (Figura 6.11).

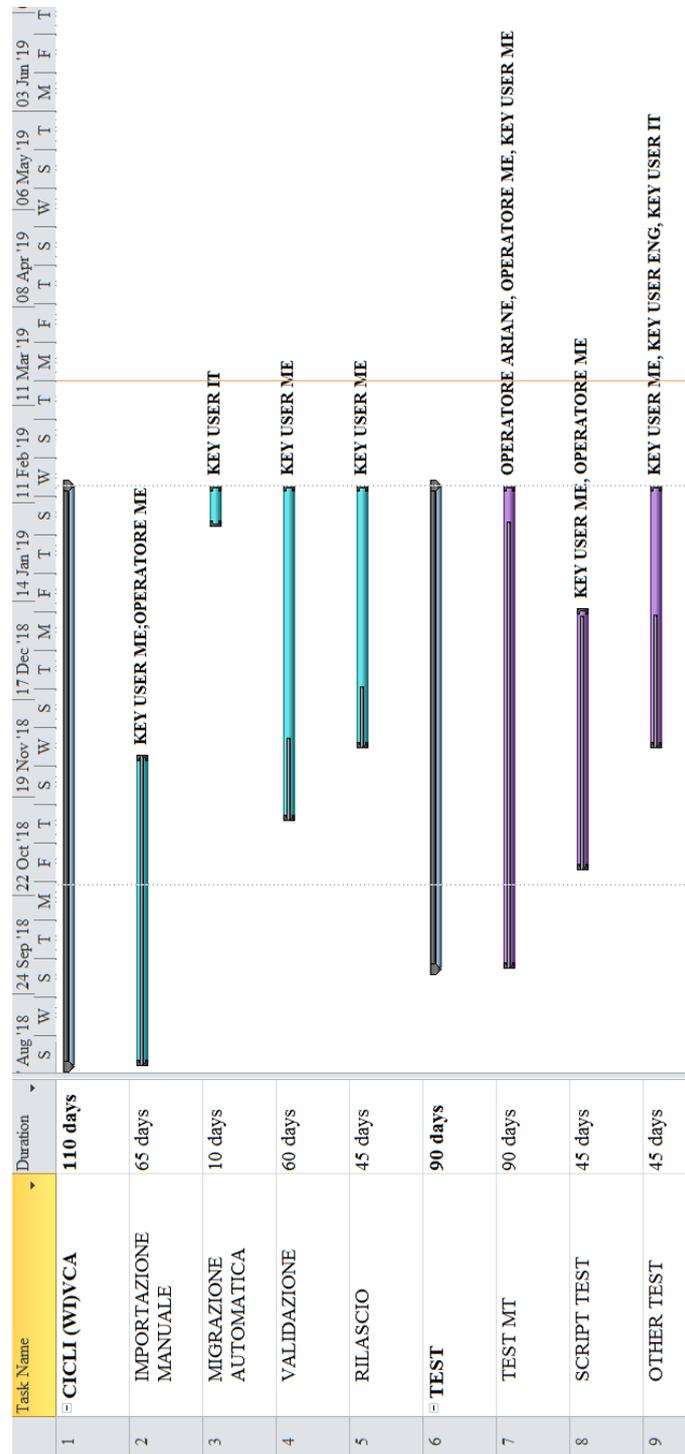


Figura 6.11: Gantt della parte gestita

Queste barre possono sovrapporsi durante il medesimo arco temporale ad indicare la possibilità dello svolgimento in parallelo di alcune delle attività. La collocazione delle barre di attività lungo l'asse temporale consente di evidenziare non solo la durata, ma anche il periodo di realizzazione di ogni attività.

La Figura 6.11 mostrerà la durata delle attività gestite e il relativo periodo di esecuzione.

Non a caso non sono presenti dei vincoli che legano le attività perchè, lavorando sull'implementazione di un software, gestendo il caricamento dei dati relativi ai cicli di lavorazione singolarmente, le attività sono state eseguite in modo parallelo pur seguendo dei vincoli rigidi legati però al singolo ciclo, nelle tecniche reticolari si spiegano le regole di precedenza relative al singolo ciclo.

### 6.4.5 Tecniche reticolari

Le tecniche reticolari hanno alla base dei diagrammi rappresentativi delle interrelazioni, dipendenze e precedenze tra le diverse attività del progetto. Non rappresentano in modo analitico la durata e la sequenza temporale di ogni attività ma è piuttosto una descrizione delle dipendenze logiche tra le attività stesse.

Dai reticoli si possono ottenere le seguenti informazioni:

- i percorsi, le sequenze di attività che portano dall'istante di inizio a quello di fine del progetto;
- il percorso critico, il percorso con la durata (lead time) più lunga;
- aggiungendo anche informazioni sugli istanti di early e late start e finish è anche possibile calcolare lo *slack* /ritardo.

Le tecniche reticolari hanno due elementi fondamentali:

1. **nodi**, possono essere rappresentati con un punto o un cerchio;
2. **archi**, rappresentano la relazione binaria tra i nodi.

Per tracciare il reticolo si genera una matrice di dipendenza in cui si indicano le attività e le precedenze che possono riflettere alcuni tipi di vincoli di carattere contrattuale, normativo, funzionale, finanziario, ambientale, ecc.

Il reticolo generato per la gestione dei cicli e dei test segue dei vincoli ben definiti che, se non rispettati, impediscono il raggiungimento degli obiettivi dell'attività (Tabella 6.2).

	<b>Attività</b>	<b>Precedente</b>
<b>1</b>	Importazione Manuale	-
<b>2</b>	Importazione Automatica	-
<b>3</b>	Validazione	1, 2
<b>4</b>	Rilascio	3
<b>5</b>	Script Test	4
<b>6</b>	Test MT	4
<b>7</b>	Altri test	4

Tabella 6.2: Matrice delle attività

Osservando la matrice delle relazioni costruiamo il relativo reticolo.

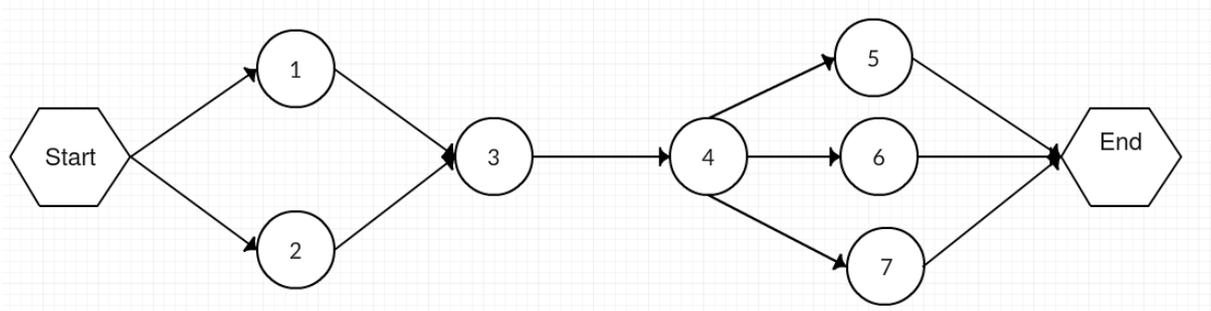


Figura 6.12: *Activity on node*

Il reticolo parte dall'importazione manuale o automatica del ciclo su Solumina G8 da parte degli operatori, una volta caricato il ciclo il *key user* del ME valida il ciclo e lo rilascia.

Dopo il rilascio del ciclo, dove necessario, sono rilasciati gli ordini di lavoro legati al ciclo così da poter eseguire anche i test che lavorano sull'esecuzione dell'ordine.

Il reticolo può essere applicato ad un semplice ciclo ma vale per tutti gli altri, a seguire la matrice di dipendenza.

Benché le tecniche reticolari permettano di ovviare alle limitazioni del Gantt relativamente all'individuazione delle dipendenze tra le attività, concepiscono ancora come deterministica la durata delle stesse, quando invece il calcolo della durata delle attività è spesso difficile ed incerto, soprattutto per le attività che implicano l'utilizzo di un software.

Non consentono quindi di valutare la robustezza del piano di progetto rispetto all'incertezza connessa allo svolgimento delle attività.

## 6.5 Costi

I costi del progetto includono tutti i costi che erano stati pianificati inizialmente più alcuni costi extra che sono stati affrontati durante la fase di esecuzione del progetto.

I costi del progetto includono principalmente l'acquisto del software, il costo della manodopera per l'ufficio IT, il Manufacturing Engineering e la Direzione Tecnica, i viaggi, l'acquisto delle infrastrutture hardware, la traduzione del software dalla lingua inglese all'italiano.

Voce di costo	Descrizione	Costo
<b>Spese aziendali</b>		
Viaggi	Altri sedi <i>Collins Aerospace</i> per verificare funzionamento in altri siti	OPEX
Risorse	Assunzione di risorse a tempo determinato	OPEX
Traduzione	Dalla lingua inglese a lingua italiana	OPEX
Costi di implementazione del software	Integrazione con altri software	CAPEX
	Installazione	
	Testing	
	Training	
	Cablaggio	
<b>Spese aziendali rimborsate</b>		
Software SG8	<i>Tool</i> di comunicazione tra sistemi ERP e PLM <i>Monitoring</i>	
Implementazione Hardware	Monitor grandi Barcode Bracci per monitor	
Migrazione automatica	Passaggio dati da SG7 a SG8	

Tabella 6.3: Costi per l'implementazione del MES

La stima dei costi ha richiesto uno sforzo non indifferente.

Una parte di costi è a carico della Microtecnica S.r.l. mentre le spese rimborsate sono a carico della *Corporate*.

I costi pianificati e i costi consuntivati vengono inseriti nel grafico in Figura 6.13, i pianificati sono tracciati dalla curva di colore verde mentre i consuntivati dalla curva di colore blu, i costi sono tracciati secondo un ordine di grandezza che va fino ad un massimo di 400 mila euro.

Osservando il grafico in Figura 6.13, nella fase iniziale, i costi effettivi sono stati maggiori rispetto a quelli pianificati, si può infatti vedere come la curva a S dei pianificati sia minore della curva degli effettivi, successivamente, i costi effettivi vengono ridotti rispetto ai pianificati, fattore determinante è stata l'assunzione di un numero di risorse minore rispetto alle pianificate, l'argomento sarà approfondito nel paragrafo 6.7 di monitoraggio e controllo delle risorse.

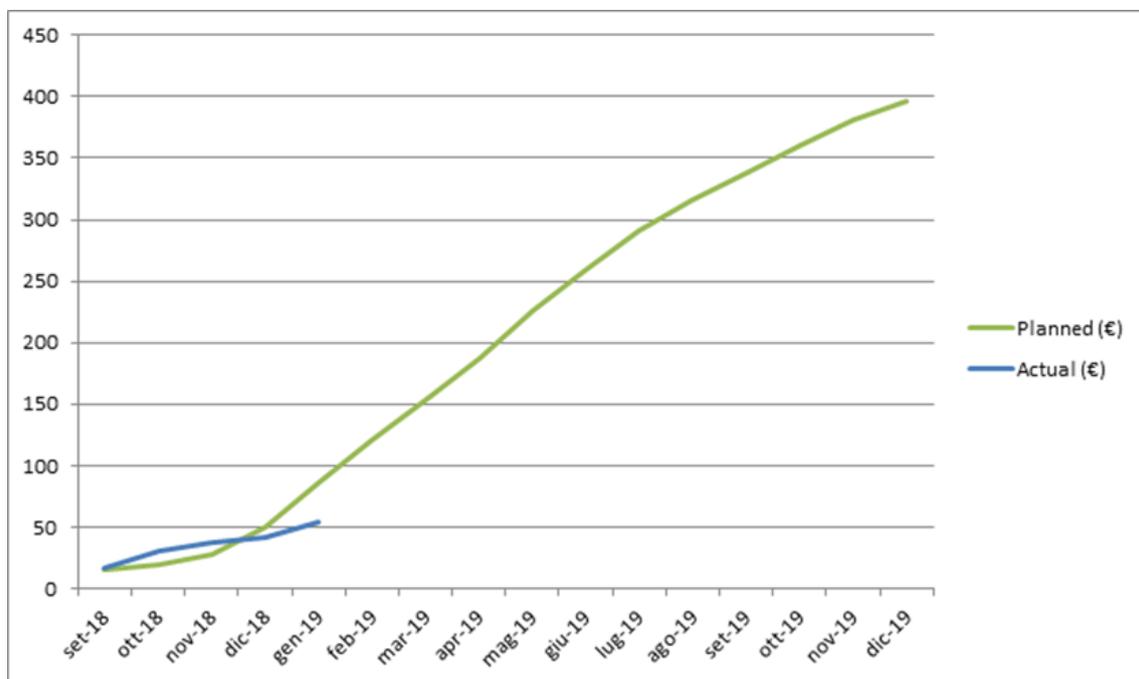


Figura 6.13: Monitoraggio dei costi mediante curva a S

L'analisi economica non è pubblicata nella tesi esplicitamente.

## 6.6 Rischi

Il risk management è quell'insieme di strategie mirate ad agire sugli elementi che possono eliminare o ridurre il rischio negativo e su quelli che possono incrementare le opportunità, si suddivide a sua volta in quattro fasi distinte:



Figura 6.14: Fasi del *Risk Management*

Come per i costi, l'analisi dei rischi riguarda il progetto Pilota nella sua interezza, infatti i rischi raccolti non sono relativi solo alla gestione dei cicli e dei test [15].

### Identificazione dei rischi

I rischi dovrebbero essere direttamente collegati agli obiettivi del progetto e concordati dal team di gestione del progetto con i principali stakeholders affinché possano essere documentati nell'apposito Registro dei Rischi (Figura 6.17).

Una corretta gestione del rischio fa riferimento ad eventi valutabili già in fase di avvio, ma per la tipologia di progetto è stato tenuto in considerazione il fatto che altri rischi si sarebbero potuti presentare durante il ciclo di vita del progetto stesso.

In questa fase è stato utile ricorrere alle informazioni contenute nel *Business Case* e produrre una analisi SWOT.

L'analisi SWOT è uno strumento di pianificazione strategica che permette di mettere in evidenza e di valutare i punti di forza (*Strengths*), i punti di debolezza (*Weaknesses*), le opportunità (*Opportunities*) e le minacce (*Threats*) di un'impresa. Il contesto in cui è stata applicata la SWOT analysis è ampio e comprende sia il processo di trasformazione digitale che di implementazione del software.

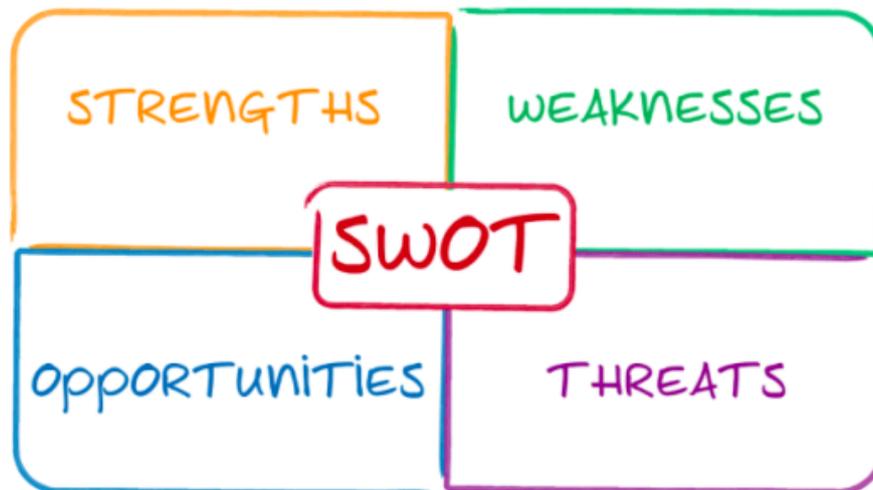


Figura 6.15: *SWOT Analysis* [36]

### Strengths

- Presenza di un sistema industriale con grandi potenzialità;
- Tracciabilità;
- *Paperless*;
- Elevato *know-how* tecnico diffuso;
- Sviluppo delle infrastrutture solido;
- Budget a disposizione;
- Esperienza data dall'implementazione di Solumina G7.

### Weakness

- Approccio culturale poco favorevole verso l'integrazione;
- Poca esperienza degli operatori nella gestione digitale dei *work orders*;

- Fornitore poco reattivo a causa dei giri da compiere per mettersi in contatto con lui;
- Attività procrastinate a seguito di problemi legati ad interconnessione con altri *tool*;

### Opportunity

- Possibile integrazione con alcuni software con cui non comunica (esempio Team-Center);
- Progetto Pilota a livello internazionale;
- Ci si avvicina sempre più al mondo dell'industria 4.0;
- Possibile gestione delle certificazioni del settore aerospaziale su Solumina G8;

### Threats

- Operatori hanno difficoltà ad utilizzare il software;
- Difficoltà ad integrare alcuni dispositivi aziendali.

### Quantificazione dei rischi

Deve essere valutato l'impatto di ciascun rischio in base ad una scala di fattori come le prestazioni, i tempi, i costi, la qualità, la reputazione o le persone. Inoltre deve essere assegnata una **probabilità di accadimento** a ciascun rischio identificato (es. da 1 a 5) ed un valore di **impatto** (es. da 1 a 5), così il rischio calcolato è dato dal prodotto dei due fattori:

$$R = P * I \quad (6.1)$$

Dai tre valori può essere calcolata una matrice del rischio in cui vengono collocati i rischi contenuti nel relativo Registro. Nella matrice possono essere individuate tre fasce che indicano la gravità del rischio: basso, medio e alto, è considerata uno strumento che fornisce un forte impatto visivo.

Dal rischio calcolato e dal posizionamento sulla *risk matrix* si può prioritizzare il rischio stesso.

## Pianificazione dei rischi

Considerare tutte le minacce e i rischi è antieconomico, per cui, in questa fase si cerca di massimizzare le opportunità e minimizzare le minacce.

Per i rischi che hanno priorità più alta viene svolto un approfondimento volto a precisare l'impatto reale di ciascun evento rischioso se si dovesse presentare e viene calcolato il valore monetario atteso associato a tale evento.

In questa fase vengono definite delle strategie di risposta al rischio, cioè dovranno essere definite per ciascun rischio le azioni e le risorse necessarie per ridurre l'impatto e/o la probabilità del rischio.

In tal senso le possibilità sono:

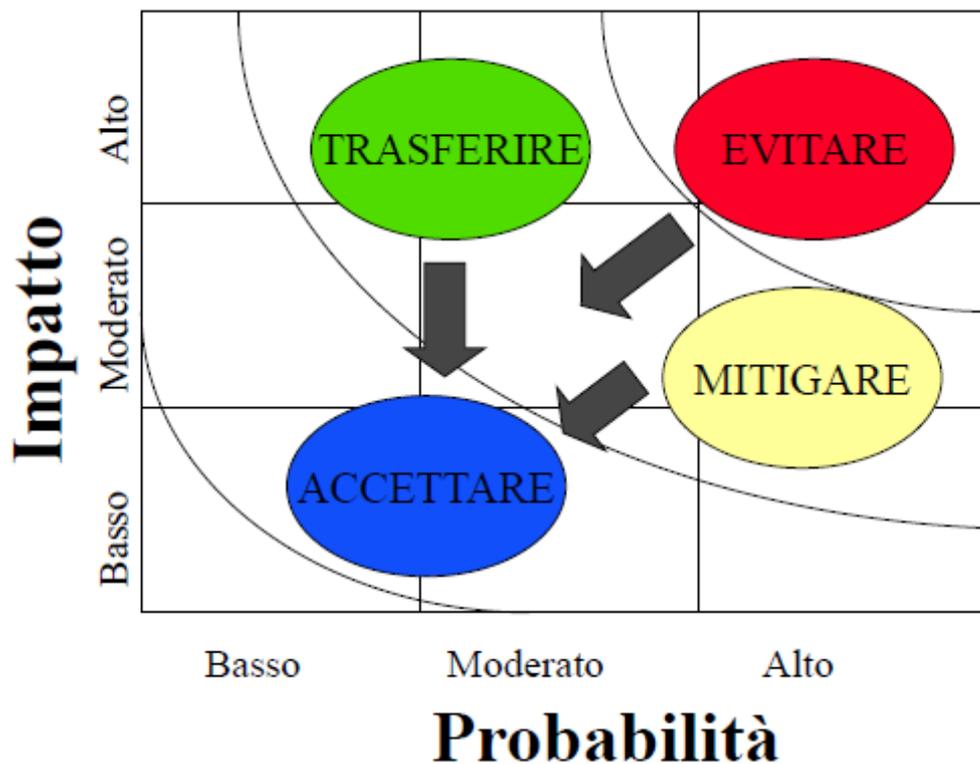


Figura 6.16: Strategie di risposta al rischio (Fonte: pwc)

1. Evitare;
2. Trasferire;
3. Mitigare;
4. Accettare.

Le prime due sono risposte strategiche mentre le ultime due tattiche.

### **Controllo del rischio**

Nella fase di controllo si verifica l'evolversi del rischio allo scopo di ricercare gli interventi, ancora possibili, finalizzati al miglioramento degli obiettivi temporali, economici e qualitativi. Nel controllo del rischio si verifica l'accadimento del rischio stesso, si analizzano gli scostamenti rispetto alle previsioni, si individuano le cause, si valutano le azioni correttive, si ripianifica e si aggiorna il *risk plan*.

L'obiettivo di questa attività è di valutare l'adeguatezza sul campo del piano di gestione del rischio, al fine di confermarne la validità o di innescare una fase di revisione del sistema di gestione del rischio.

Nel progetto in esame, non essendo di piccole dimensioni, è impossibile gestire i rischi in modo informale per cui, è stato istituito un registro dei rischi articolato per favorirne la gestione, il monitoraggio e la comunicazione dei rischi e delle relative azioni di mitigazione.

Inoltre, oltre al registro, nel workshop settimanale, è previsto un *brainstorming* sull'emergere di nuovi rischi e su come procedere per gestirli.

Nel registro dei rischi sono stati elencati i rischi possibili e potenziali, per ognuno di questi è stato calcolato il valore  $R$  dato dal prodotto di probabilità di impatto  $I$  e di probabilità di accadimento  $P$ , sia  $I$  che  $P$  possono avere valori che vanno da 1 a 5, la scelta di aver determinato tale scala è del tutto arbitraria.

Infatti, il metodo di gestione del rischio risulta di tipo semi-quantitativo, questo risultava l'approccio più adatto e semplificato dato che permetteva di calcolare il rischio al momento attraverso i dati che si avevano a disposizione. Anche se, basandosi su un'interpretazione soggettiva presenta dei limiti, tra questi l'essere poco flessibile e l'essere legata spesso ad un giudizio strettamente soggettivo.

Nº	Risk	Probability	Impact	Risk	Mitigation/Contingency
10	Data migration to Solumina	4	4	16	For not fully converted plans, WI and WO will be printed (no digital)
14	WI Validation/Error introduction	3	5	15	No mitigation (Production Issue)
7	Site infrastructure and hardware not available on time	3	4	12	SG8 low performances (LAN), No mitigation for other points (Project Delay)
15	Additional resources arrive late	3	4	12	Prioritize LRUs of planned cell
25	BO Italy database	4	3	12	Paper VCA until that BO database will be prepared
4	Autotime 7 interface to Power Suite for machine labor collection	2	5	10	Manual machine time input in Autotime 7
17	Increase of Production Process time	2	5	10	Work to lean digital operation otherwise No mitigation (Production Issue)
6	Machine integration with Solumina G8	3	3	9	Temporary solution is to collect data manually
11	Delay on Indysoft interface to Solumina	4	2	8	Indysoft data master massive import to support current WI import
12	Solution for QN not satisfactory	2	4	8	Use current process (Only SAP)
21	No solution for 'Revision different than 1'	4	2	8	More time required for WI validation/release
5	Delay on SAP Integrations for Solumina G8	3	2	6	Perform anyway GoLive, considering that remaining interfaces could be considered as secondary
8	VCA template not satisfactory for ENG	3	2	6	Agreement with customer or parallel 'Word/Excel' format
19	Repeated issue due to Language Configuration	2	3	6	No mitigation (Project Delay and risk on specifications)
2	Low Business team's experience	1	4	4	-
9	Autotime 7 Integrations for Solumina G8	1	4	4	Autotime 7 enhancement (To be confirmed)
18	Operator Interface not clear/satisfactory	2	2	4	Change approach during WI import/realization (not possible change SG8 graphical interface)
20	Variables/Data/Calculation management not satisfactory	2	2	4	Change approach during WI import/realization. Risk of lower SG8 functionalities
22	Late implementation of SG8 production database & configuration	1	4	4	Simulate GoLive with SG8 Test Environment, but real production? Otherwise no mitigation (Project Delay)
24	Autotime-SG8 test not satisfactory	1	4	4	Evaluate if possible perform anyway GoLive, considering to acquire labor hours by current way. Otherwise Project Delay
13	Low availability of Corporate/Supplier for Support	1	3	3	No mitigation (Project Delay and risk on specifications)

1	Late Autotime 7 implementation	0	4	0	No mitigation (Project Delay)
3	Delay on Translation	0	3	0	SG8 could be deployed in English
16	Difficulty to get BRU Gescont Resource	0	4	0	Looking for stage or other contractor agency
23	Late passports submission and/or approval	0	4	0	Perform anyway GoLive, considering that paper will be maintained anyway as official process. Otherwise Project Delay

Figura 6.17: Registro dei rischi a T6

Dopo aver calcolato il valore del rischio per ogni potenziale rischio rilevato, è stata stilata una matrice con probabilità di accadimento sulle colonne e impatto sulle righe e su di questa sono stati collocati i rischi.

5	Near Certainty					
4	High Probable		11 20			
3	Likely		8	6 13	21 9 7 15	14 16
2	Unlikely		19 5 17	18	10 12	4
1	Highly unlikely			3	2 1	
	Likelihood / Impact	Minimal	Minor	Moderate	Significant	Major
		1	2	3	4	5

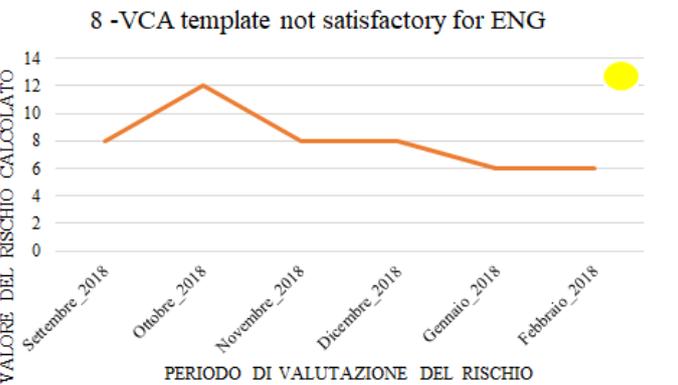
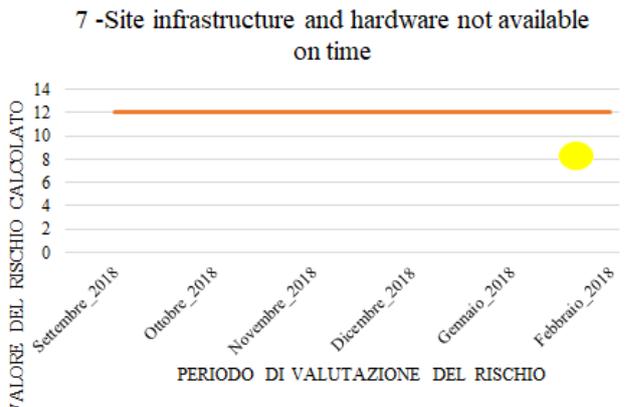
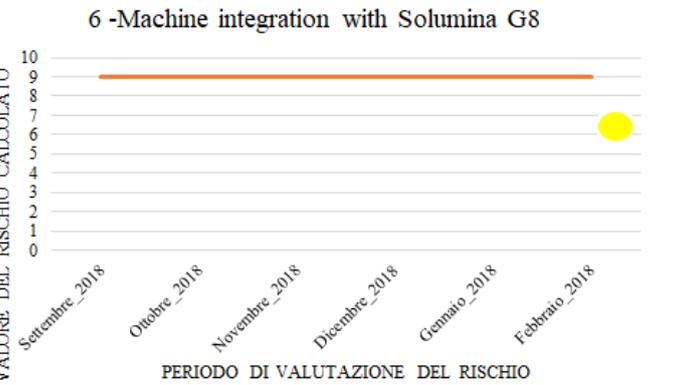
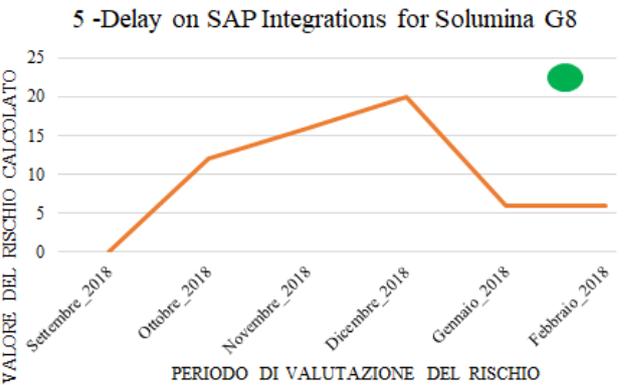
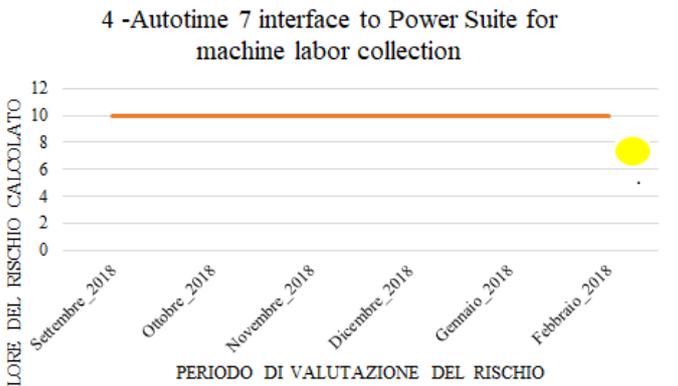
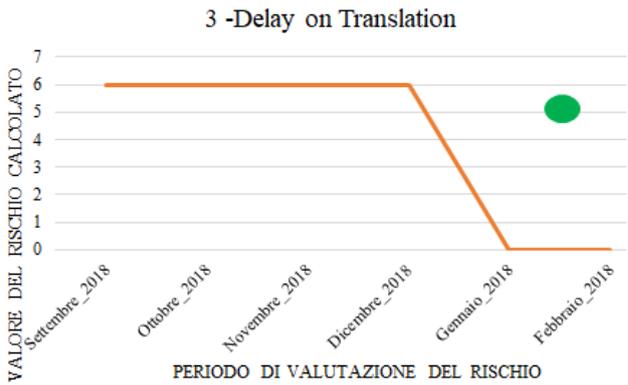
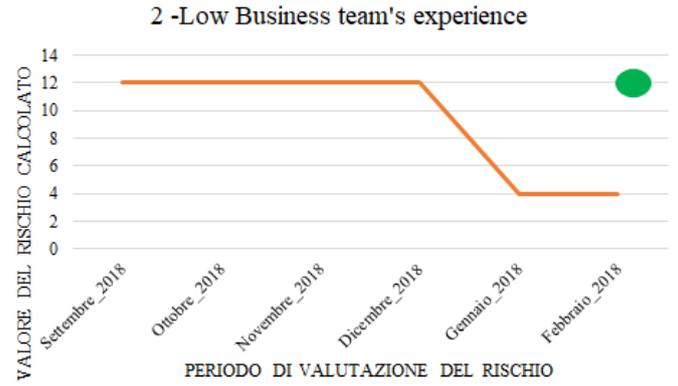
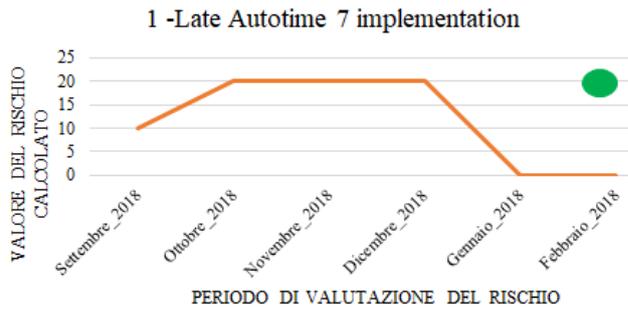
Figura 6.18: Risk Matrix

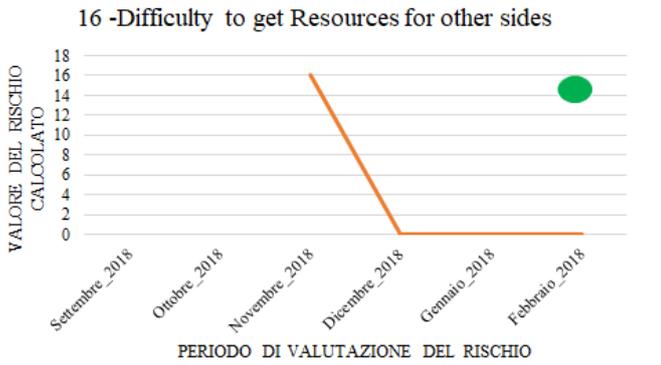
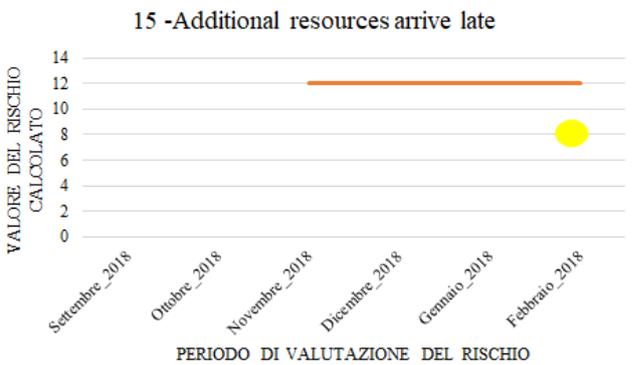
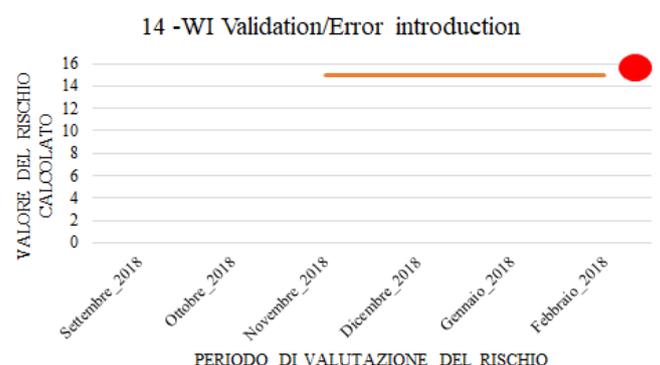
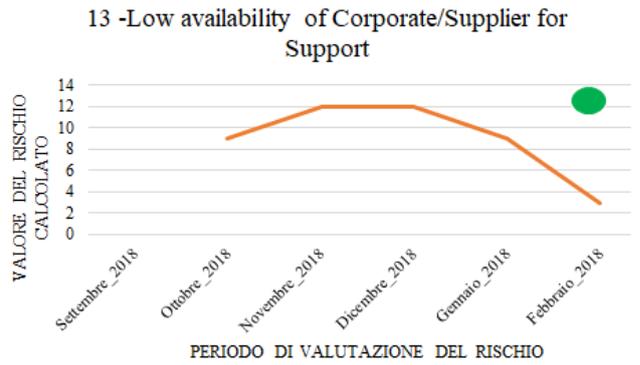
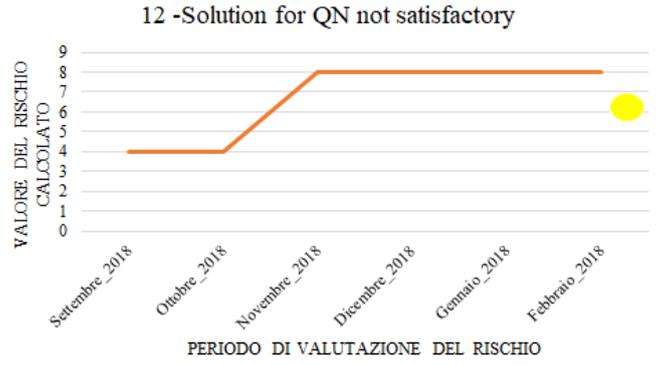
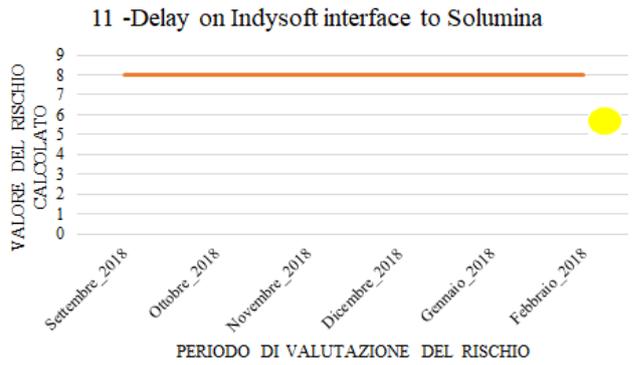
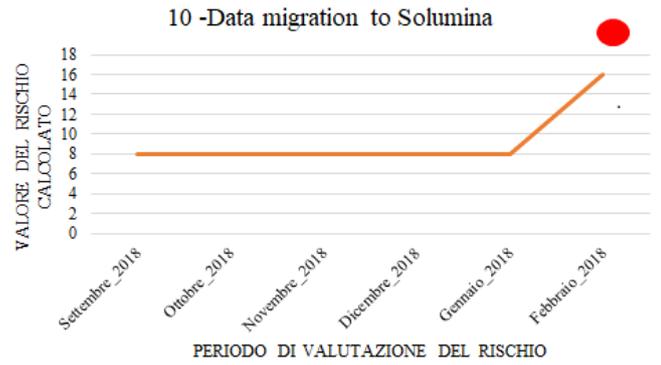
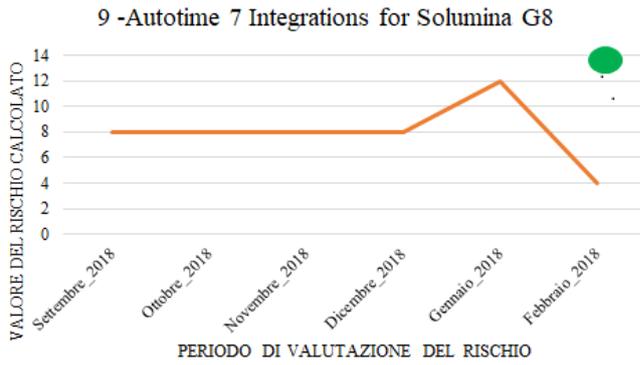
L'analisi dei rischi è stata eseguita in sei periodi differenti, ogni rischio è stato monitorato singolarmente attraverso i seguenti grafici che hanno riportato il rischio calcolato per ogni periodo.

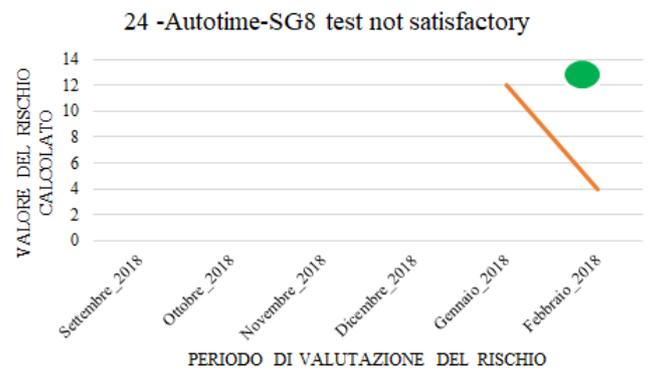
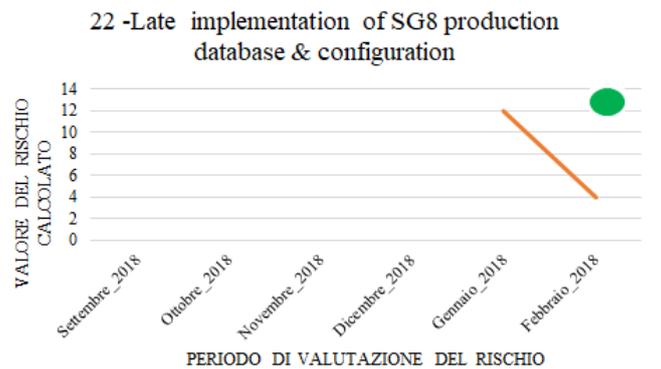
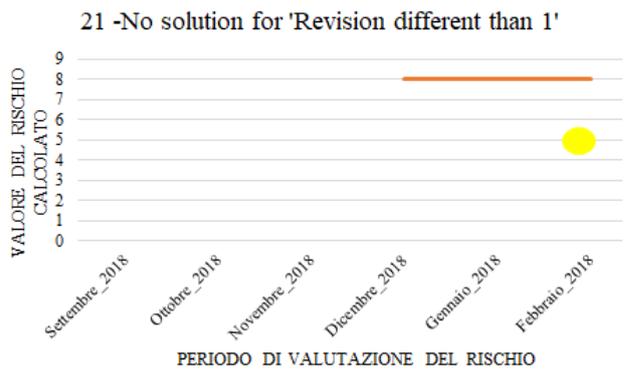
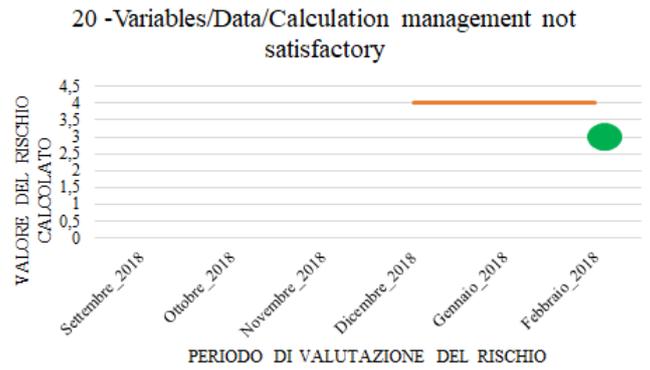
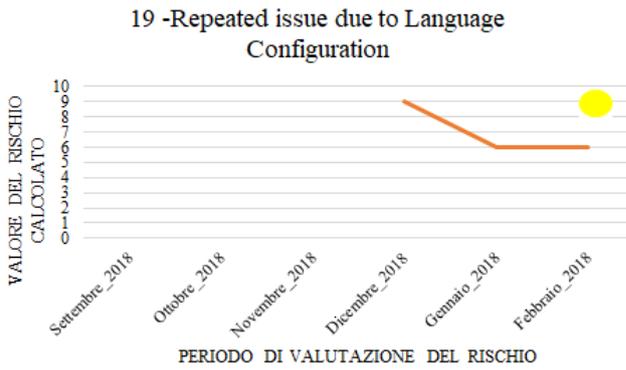
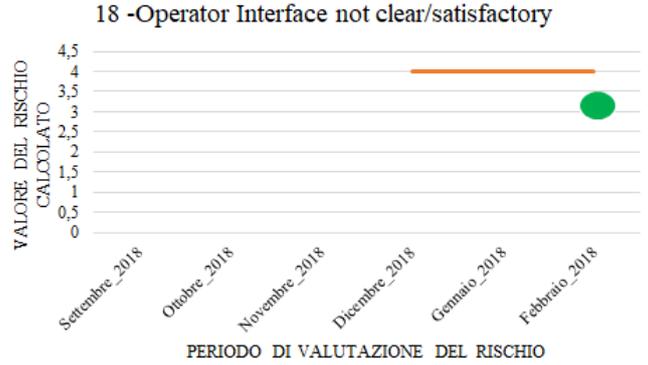
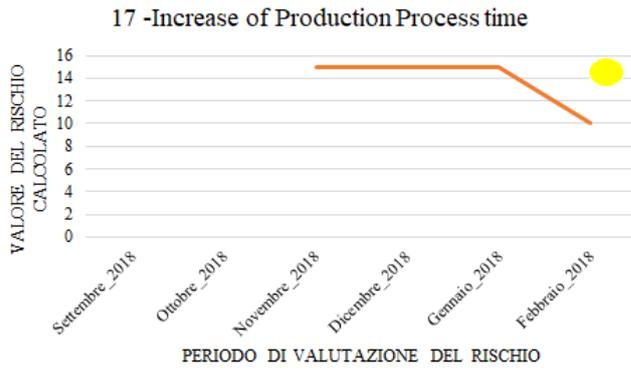
Ogni grafico indica il rischio rilevato ed è stato individuato con un numero che va da uno a venticinque corrispondente al numero del rischio stesso nel registro della Figura 6.17:

1. **Late Autotime 7 implementation**, l'implementazione in ritardo della nuova versione del software Autotime 7 dalla versione 6 per il rilevamento delle ore-macchina e ore-uomo;
2. **Low Business team's experience**, una bassa esperienza del team dedicato al progetto, nella gestione delle attività descritte in precedenza, avrebbe potuto rallentare l'esecuzione;
3. **Delay on Translation**, il software è stato tradotto perchè non tutti in azienda sono obbligati a conoscere l'inglese, per cui, ritardi nell'arrivo della traduzione avrebbero rallentato il processo di implementazione;
4. **Autotime 7 interface to Power Suite for machine labor**, errore nella comunicazione tra i due software principali che rilevano le ore lavoro;
5. **Delay on SAP Integrations for Solumina G8**, ritardo nell'integrazione tra il sistema ERP e il sistema MES;
6. **Machine integration with Solumina G8**, integrazione tra le macchine di lavorazioni e il sistema MES;
7. **Site infrastructure and hardware not available on time**, installazione delle infrastrutture hardware e software non in tempo per il *Go Live*;
8. **VCA template not satisfactory for ENG**, errori nella gestione dei certificati di collaudo per la Direzione Tecnica perchè non soddisfatti del nuovo modo di gestirli;
9. **Autotime 7 Integrations for Solumina G8**, integrazione tra il nuovo Autotime 7 e il MES;
10. **Data migration to Solumina**, errori nella migrazione dei dati dal sistema ERP al sistema MES;
11. **Delay on Indysoft interface to Solumina**, ritardo nella connessione tra il sistema MES e il sistema di gestione degli utensili;
12. **Solution for QN not satisfactory** gestione delle *Quality notification* in forma digitale non soddisfacente per il reparto di Qualità;
13. **Low availability of Corporate/Supplier for Support**, poco supporto da parte del fornitore del software in caso di necessità;
14. **WI Validation/Error introduction**, errore nella gestione del caricamento dei cicli di lavorazione;

15. **Additional resources arrive late**, ritardo nell'arrivo di risorse aggiuntive in caso di necessità;
16. **Difficulty to get Resources for other sides**, difficoltà nel trovare risorse aggiuntive nel caso in cui fossero necessarie negli altri siti;
17. **Increase of Production Process time**, rischio che con la digitalizzazione i tempi di processo aumentino nel tempo;
18. **Operator Interface not clear/satisfactory**, poca chiarezza nell'interfaccia del software per l'operatore;
19. **Repeated issue due to Language Configuration**, rischio che vi possano essere nuovamente problemi di lingua doppia nel software in versione produzione;
20. **Variables/Data/Calculation management not satisfactory**, gestione dei dati inseriti non soddisfacente per chi li utilizzerà;
21. **No solution for Revision different than 1**, rischio che non la migrazione, i cicli di lavorazione non migrino dal numero di revisione in corso ma partano da 1 sul nuovo software;
22. **Late implementation of SG8 production database & configuration**, ritardo nell'implementazione del software nella versione *production*;
23. **Late passports submission and/or approval**, ritardo nell'accettazione degli output dei passports;
24. **Autotime-SG8 test not satisfactory**, interfaccia tra Autotime e MES non supera i test indicati;
25. **BO Italy database**, problemi nella gestione del *tool Business Object*, per la gestione dei report sul MES.







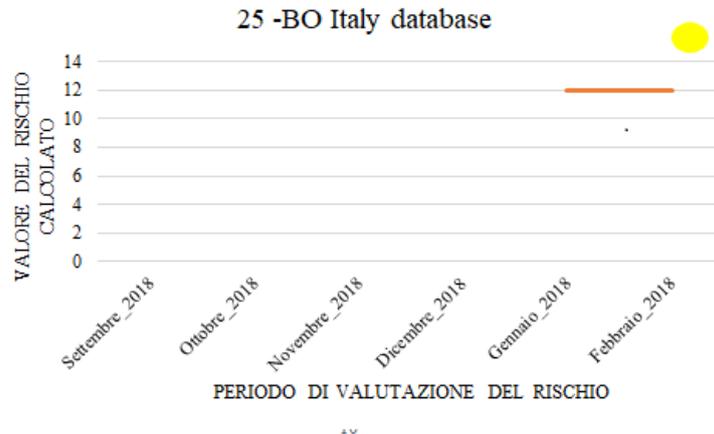


Figura 6.19: Andamento dei singoli rischi individuati nel Registro dei Rischi

Nei grafici precedenti, in alto a destra, è stato inserito un pallino di colore rosso, giallo o verde, in base all'andamento del rischio:

- rosso, se andamento peggiorativo o comunque valori del rischio calcolato medio-alti;
- giallo se i valori si mantengono nel range, scelto arbitrariamente, che va da 5 a 12;
- verde, se l'andamento ha subito miglioramenti nel tempo o addirittura il rischio è stato chiuso, cioè il valore del rischio calcolato corrispondeva a zero.

In ogni periodo inoltre sono stati tracciati il numero di rischi in corso e il rischio medio calcolato, questo è calcolato mediante la somma del valore di tutti i rischi calcolati nel periodo  $T_n$  diviso per il numero di rischi in corso (6.2):

$$\text{Rischio calcolato medio in } T_n = \frac{\sum_1^i R_i}{i} \quad (6.2)$$

Dalla Figura 6.20 si nota come andando avanti nell'esecuzione del progetto il numero dei rischi è aumentato poichè ne sono stati individuati dei nuovi, mentre il rischio medio calcolato è diminuito, grazie alle strategie adottate.

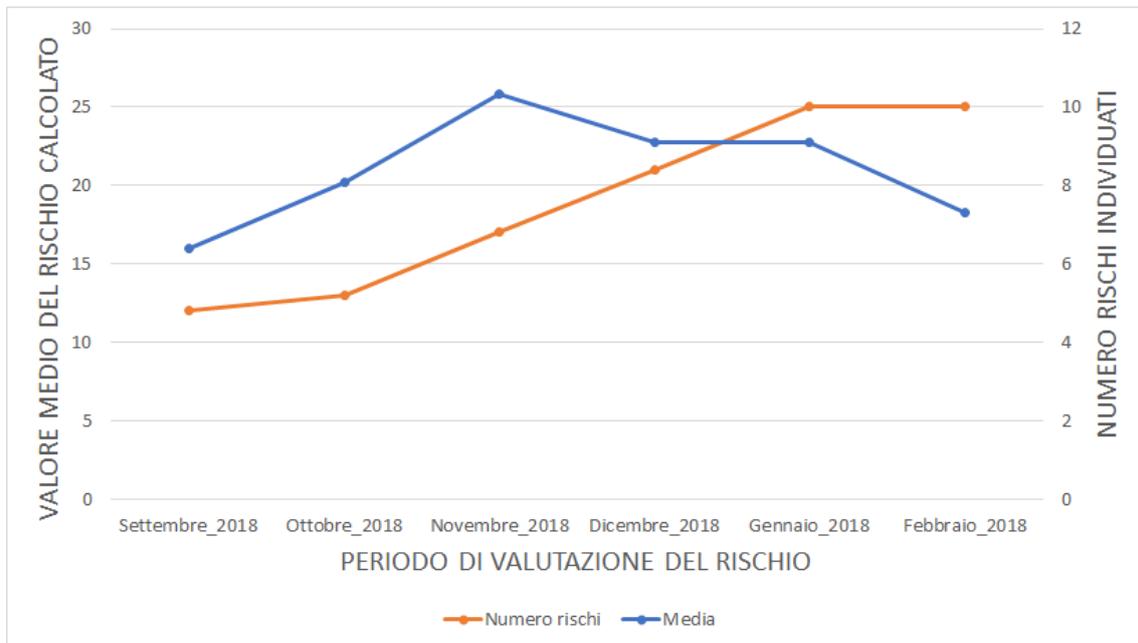


Figura 6.20: Media della somma dei rischi calcolati rapportati al numero di rischi

L'unico rischio che è aumentato nel tempo è stato il rischio relativo alla migrazione automatica dei cicli di lavorazione a causa di errori nel codice del software che avrebbe permesso il passaggio dei dati, il rischio è stato mitigato mediante caricamento manuale dei cicli di lavorazione, dove possibile, mentre in altri casi è stata utilizzata la stampa tradizionale e non il ciclo in forma digitale, questo perchè nel caso in cui la migrazione automatica non fosse arrivata in tempo per il *Go Live*, il software sarebbe stato caricato dei dati necessari per la gestione degli ordini di lavoro per la produzione.

## 6.7 Monitoraggio e controllo delle risorse

Il *monitoring* viene eseguito per tutta la durata del progetto su rischi, costi, tempi, risorse e altri parametri perchè permette la raccolta e la misurazione di dati per avere informazioni sull'andamento del progetto.

Monitorare permette dunque di vagliare lo stato di salute del progetto e di identificare, nel caso, eventuali aree da attenzionare.

Monitorare e controllare riguarda principalmente:

- il confronto tra quanto era stato predefinito e il valore effettivo;
- la valutazione delle prestazioni ed eventuali azioni correttive;
- l'analisi, il rilevamento continuo e il monitoraggio dei rischi del progetto;
- *monitoring* degli indici di *performance* individuati;
- applicazione degli scostamenti tra le curve a S tra i dati preventivati ed effettivi.

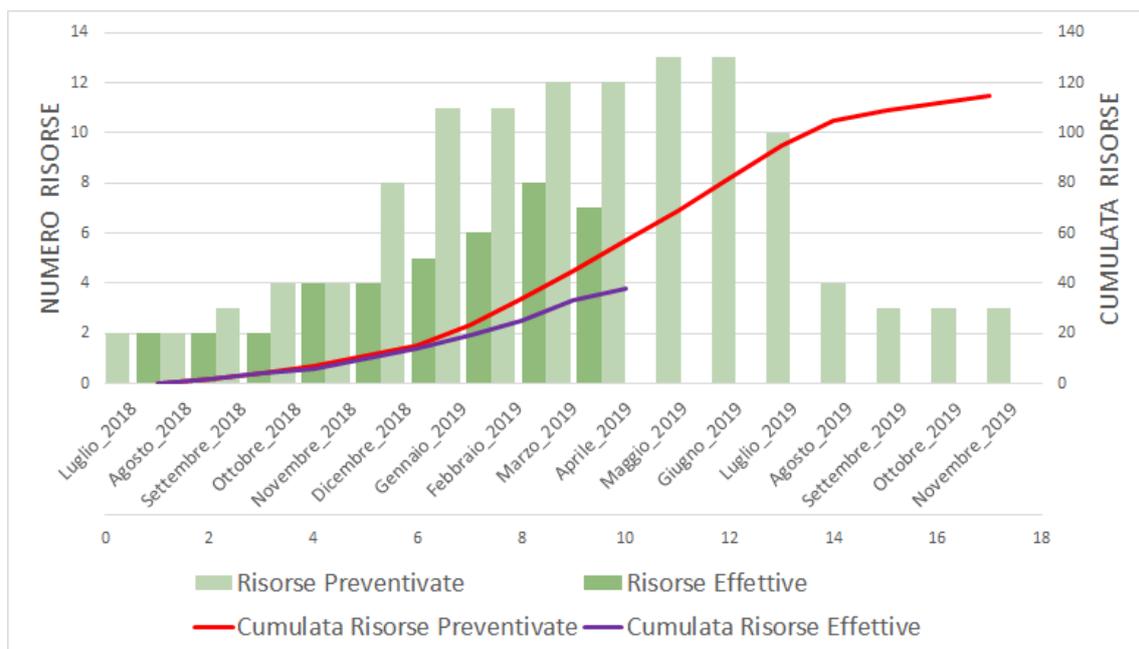


Figura 6.21: Uso delle risorse umane richiesto per la durata del progetto

Uno dei parametri tenuti in considerazione è stato quello relativo alle risorse disponibili (Figura 6.21), questo mediante curve a S.

La curva a S tiene conto della storia raccogliendo informazioni sino ad un preciso momento, come già è stato fatto nella Figura 6.13 per i costi.

I parametri controllabili con le curve a S sono diversi: ore di manodopera, costi diretti, tempi di completamento e altri. Ho deciso di applicare il metodo delle curve ad S alle risorse disponibili.

Dalla Figura 6.21 si evince come la curva ad S, a differenza dell'istogramma dia un'idea sullo stato di avanzamento. Il grafico in questione contiene la pianificazione delle risorse sino alla fine del progetto, a questa, è stata affiancato il calcolo delle risorse effettive sino al *Go Live* del progetto Pilota.

Nonostante solitamente i progetti di tipo software vengano sottostimati in termini di risorse, si nota come il numero di risorse sia stato minore rispetto al numero pianificato, sia dall'accostamento tra le barre dell'istogramma sia dalle due curve ad S, questo ha portato ad avere dei costi effettivi relativi a risorse minore dei costi pianificati.

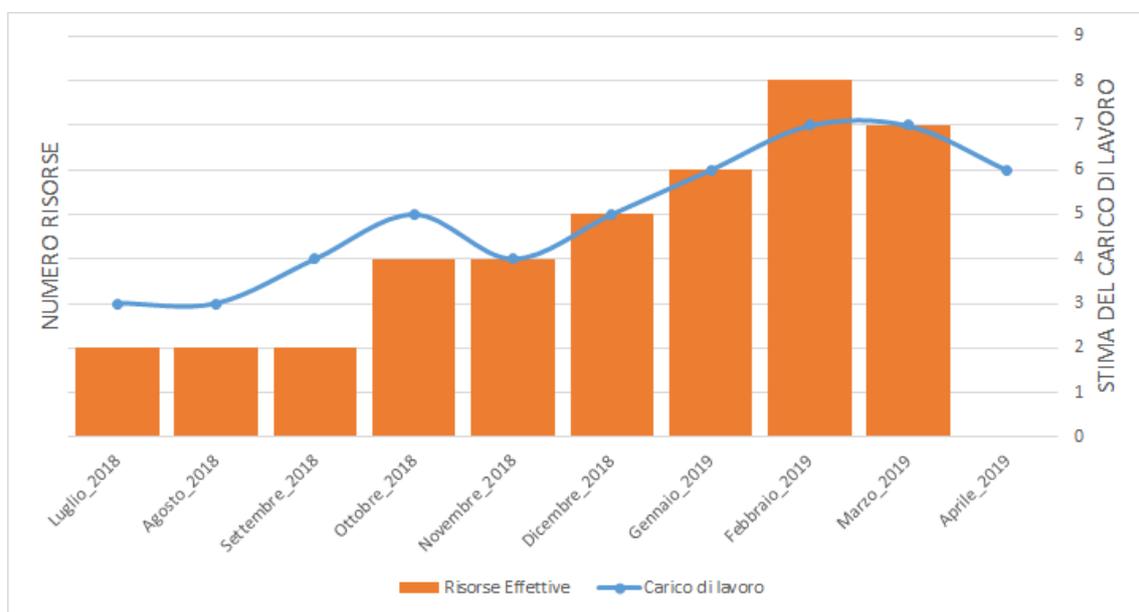


Figura 6.22: Risorse rapportate a carico di lavoro

Nella Figura 6.22 invece si indicano le risorse disponibili effettive rapportate al carico di lavoro, inizialmente il carico era alto poichè essendo all'inizio tutto era da fare, segue un periodo di valutazione, installazione del software e formazione.

A seguire, ad inizio ottobre il carico aumenta perchè è stato stabilito che i cicli di lavorazione sarebbero stati importati manualmente, per cui l'aumento del carico coincide con l'aumento delle risorse.

A dicembre le risorse aumentano poichè il carico successivamente sarà maggiore in vista del *Go Live* del progetto Pilota, infatti è stato intensificato il lavoro per concludere l'esecuzione dei test, il perfezionamento dei cicli sul software e il caricamento dei certificati di collaudo.

## 6.8 *Burndown Chart*

L'andamento del progetto, nel suo complesso, è invece stata monitorata mediante *Burndown Chart*.

I *Burndown Chart* rappresentano uno strumento semplice della metodologia *Agile*, poichè mostrano graficamente che il numero di compiti deve arrivare ad un determinato valore entro una data definita. Il sistema visivo umano rende anche molto facile estrapolare una tendenza dai dati e vedere se l'obiettivo verrà raggiunto in tempo o meno indipendentemente dalle capacità o livello di gestione (Pries e Quigley, 2010).

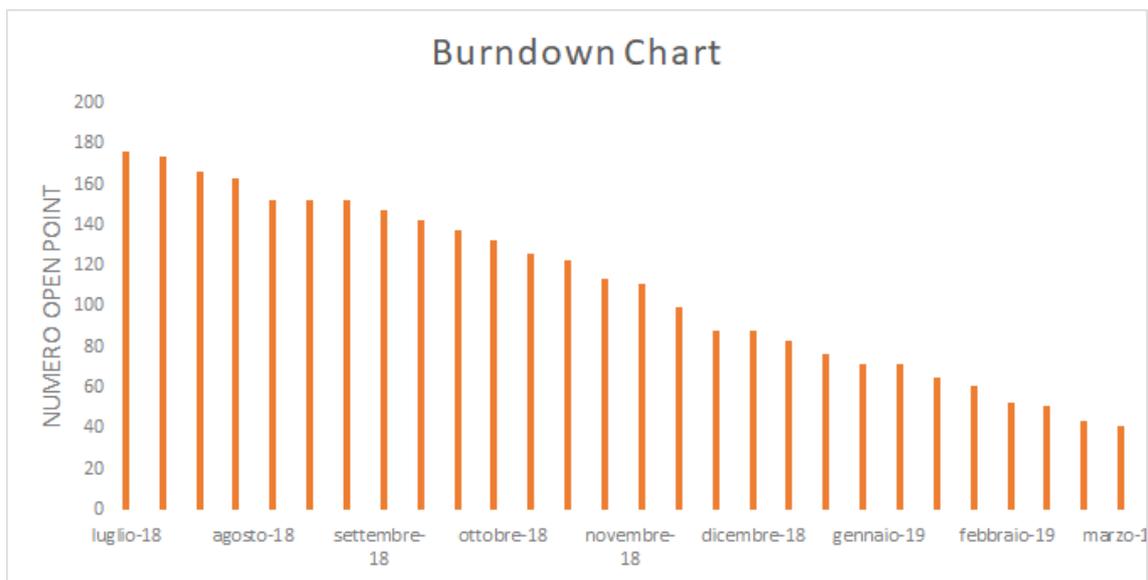


Figura 6.23: *Burndown Chart*

Nel progetto in esame sono stati individuati 175 *open points* (Figura 6.23), per ognuno di questi, mano a mano che ci si riuniva negli sprint settimanali, si assegnava un valore numerico intero da 1 a 4, in base allo stato di avanzamento, quando il valore del singolo open point era 4 veniva segnato come chiuso. Il *Burndown chart* ha permesso di misurare la quantità di lavoro completata, data dal numero di *open points* chiusi rispetto al totale, nel periodo definito. Dal grafico inoltre, si vede come l'andamento non sia lineare, questo perchè ogni *open point* ha un suo carico di lavoro.

Il grafico non raggiunge lo zero entro la data stabilita poichè una parte tra gli *oper point* individuati non è stata chiusa a seguito di funzioni non funzionanti, un'altra parte perchè relativa al progetto Pilota ma anche ad attività future non implicate nella gestione del progetto.

## 6.9 Considerazioni sulla gestione del progetto

L'applicazione degli strumenti del *project management* presenti nell'elaborato è intesa come punto di partenza da cui si svilupperanno i successivi progetti di trasformazione digitale nelle altre celle.

Bisogna sottolineare come il *project management* sia stato fondamentale per dare chiarezza sulle attività da svolgere nei singoli reparti e come questo, attraverso i suoi strumenti, abbia garantito una buona gestione.

Il metodo di gestione attuato in azienda però ha presentato una serie di criticità evidenti. La più problematica è certamente legata alla pianificazione, nella fase iniziale infatti, è stato trascurato il peso che avrebbero potuto avere alcune attività come la gestione dei cicli. Sin dall'inizio si considerava, in fase di pianificazione generale, che questi venissero migrati automaticamente dal software presente prima dell'implementazione di Solumina G8, questo però non è stato possibile, a causa di errori presenti nel codice del *tool* di migrazione fornito, per cui, tutte le attività sono state procrastinate di circa 4 mesi a progetto avviato.

Inoltre, se fosse stata stabilita per tempo la rete di precedenze delle attività e se fosse stato individuato il cammino critico del progetto sarebbe stato possibile sapere quali sarebbero state le attività sulle quali non si poteva commettere un errore e quali invece avrebbero potuto subire ritardi senza influire sulla data finale del progetto, cosa che è successa con l'attività di migrazione automatica.

Un'altra criticità è stata generata dalla gestione separata delle tre attività principali del progetto pilota, soprattutto nella gestione delle attività dei cicli di lavorazione e test delle infrastrutture hardware per l'implementazione del progetto. La scelta di curare le attività separatamente avrebbe dovuto facilitare il lavoro in termini di tempi e mole, invece ha senz'altro creato dei ritardi e una serie di disguidi, soprattutto tra l'ingegneria di produzione e l'ufficio IT. Trattandosi di un progetto di tipo IT, è normale prassi avere un *project manager business*, che opera nel reparto di Ingegneria di Produzione, e il *project manager IT*, per questo motivo si sono creati dei problemi dovuti alla duplicazione o sovrapposizione dei ruoli creando degli squilibri in termini di gestione delle attività. Questo ha senz'altro rallentato l'esecuzione del progetto e generato di conseguenza conflitti e dubbi, per gli operatori, sull'effettivo lavoro da eseguire.

Inoltre, ci si aspettava un conseguente miglioramento del controllo della gestione organizzativa, un buon livello di coordinamento tra i membri dell'organizzazione e una comunicazione efficace in grado di favorire il passaggio di informazioni, però questo non è stato possibile anche per la mentalità tradizionalista presente in azienda.

Altro limite è stato dato dalla difficoltà nell'individuare i percorsi critici, soprattutto perchè il progetto è stato unico e non ha avuto simili in passato. Solitamente in azienda ci si è sempre basati su dati storici nella stima di tempi e costi. In assenza di questi, ci si è ritrovati ad avere difficoltà nella definizione del cammino critico poiché il peso di alcune attività, come ad esempio la migrazione, è stato trascurato, per cui ci si è ritrovati a commettere errori e di conseguenza ritardi sulla data finale del progetto.

# Capitolo 7

## Conclusioni

Questo capitolo ha l'obiettivo di mostrare i benefici derivanti dal progetto tesi e i passi futuri che Microtecnica S.r.l. potrebbe compiere a seguito del presente elaborato, tenendo però presente i limiti riscontrati durante l'esecuzione.

### 7.1 Osservazioni sul lavoro di tesi

Il lavoro di tesi è stato sviluppato presso il reparto di *Manufacturing Engineering* dello stabilimento Microtecnica di Torino nel periodo che va da Luglio 2018 a Marzo 2019.

La fase iniziale è stata di formazione sull'azienda, sul settore in cui opera, sui prodotti e sugli strumenti che sarebbero stati utilizzati, dopodiché è stato avviato il lavoro di supporto al project manager nella gestione del progetto di *digital transformation* attraverso l'implementazione del *Manufacturing Execution System* Solumina G8, applicato come progetto pilota alla Cella Spazio *Ariane* dello stabilimento.

Nel progetto tesi sono stati applicati i principi del *project management* al fine di pianificare le attività relative alla gestione del progetto Pilota, soffermandomi con particolare attenzione, alla gestione del caricamento dei cicli di lavorazione e l'esecuzione dei test, attività svolte nel reparto di Ingegneria di Produzione con il supporto della Direzione Tecnica, dell'ufficio IT, dall'ufficio Qualità, degli operatori dell'area produzione e della Cella *Ariane*.

A tal fine è stato necessario approfondire lo studio della letteratura relativa al *project management* nel settore *aerospace*, all'*Industry 4.0*, alla correlazione tra questa e il concetto di *Digital Transformation* e alle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 e come queste

impattino nel settore manifatturiero.

Il MES costituisce uno strumento indispensabile per il processo di digitalizzazione, installare un sistema MES non significa limitarsi ad implementare un software interno di raccolta dati, ma introdurre uno strumento innovativo che coinvolge l'intera gerarchia aziendale.

Per avviare il processo è stata eseguita un'analisi accurata dei vari processi aziendali e dei software coinvolti allo stato corrente mediante *AS-IS Analysis*, questo ha dimostrato come spesso alcune attività facenti parte del processo siano ripetute, perchè non sincronizzate tra di loro, determinando un aumento di tempo nei processi. Così si è proceduto poi alla stesura della *TO-BE Analysis* che incorporava nei processi in esame il MES Solu-mina G8 che, integrato con gli altri software a differenza del software precedente, avrebbe ridotto i tempi di processo, aumentato il livello di tracciabilità e ridotto la carta utilizzata.

Il progetto in esame ha coinvolto ed integrato diversi reparti aziendali, condivisa infatti la *vision* da chi ha gestito e da chi ha applicato, è stato possibile agevolare il lavoro da eseguire.

## **7.2 Benefici portati all'azienda dal lavoro di tesi**

Il lavoro riportato sulla tesi riguarda l'applicazione degli strumenti del project management e la loro valutazione, questo ha permesso all'azienda di individuare i processi coinvolti nelle tre aree, valutare i rischi, monitorare l'andamento di questi e delle risorse.

Il lavoro svolto inoltre, permetterà di riutilizzare le procedure eseguite, dove possibile, per implementare il processo di trasformazione digitale nelle altre celle di produzione e supportare in futuro il project manager nelle decisioni per le altre celle, questo dovrebbe creare dei vantaggi in termini organizzativi per le prossime implementazioni.

Il passaggio alla trasformazione digitale attraverso l'implementazione del MES è determinata principalmente da un'ottima gestione dei dati che dovranno essere caricati su questo per attivare il processo, per cui, avere individuato delle procedure standard di gestione e caricamento dei cicli di lavorazione, ha senz'altro rappresentato un dei principali benefici dati dal lavoro di tesi, anche perchè le istruzioni contenute nel ciclo verranno trasformate in istruzioni dell'ordine di lavoro.

Anche se la procedura è stata individuata attraverso l'implementazione di pochi cicli rispetto ai circa diecimila eseguiti in azienda, l'aver determinato, dall'attività di *WI Import*, delle linee guida faciliterà senz'altro nel futuro il caricamento dei dati che riguardano le altre celle di produzione.

Un altro aspetto fondamentale è l'individuazione nel dettaglio delle singole attività che caratterizzano il processo e l'assegnazione a queste ad un *key user* o comunque un responsabile che le possa supportare, in modo da responsabilizzarlo e coinvolgerlo più che si può nella nuova *vision* aziendale.

Altre applicazioni come l'applicazione delle *s-curves* alla gestione delle risorse e dei costi ha permesso, sono state di ausilio e hanno portato beneficio poichè hanno permesso di tenere traccia nel tempo delle sovra e sottostime durante l'esecuzione.

Infine, aver individuato i rischi potenziali, averli inseriti nel registro dei rischi, averli valutati e tracciato l'andamento di ognuno di questi nel tempo, ha reso possibile facilitarne la gestione e capire come questi variavano nel tempo mettendo in evidenza possibili rischi inevitabili.

Ognuno dei benefici sopracitati potrà essere sfruttato nelle fasi successive al progetto Pilota in modo da ridurre i tempi e rendersi conto nel caso in cui si possa ricadere in un errore già compiuto nella fase *Pilot*.

## 7.3 Limitazioni del lavoro di tesi

Le limitazioni del lavoro sviluppato sono le seguenti:

- il lavoro di tesi è stato eseguito sino all'evento del *Go Live* per cui non è possibile valutare appieno i risultati di quanto fatto, un modo potrebbe essere dato dal confronto dei tempi dei processi, dei costi e delle risorse utilizzate prima e dopo il processo di trasformazione digitale;
- il processo è stato implementato solo su una piccola parte di quella che è l'azienda, per cui, non è detto che applicando allo stesso modo le attività eseguite alle altre celle e agli altri stabilimenti si ottengano gli stessi risultati o si riscontrino gli stessi problemi. Anche perchè, nella cella *Ariane*, vengono prodotti componenti di nicchia rispetto alle altre celle, per cui potrebbero sorgere più problemi di gestione legati ai diversi volumi di produzione, soprattutto nel breve periodo;

- alcune dinamiche aziendali hanno ritardato le tempistiche progettuali, come il fatto di avere la *Corporate IT* che fungeva da filtro tra il fornitore del software e il team Microtecnica;
- alcuni individui coinvolti nel progetto hanno dimostrato resistenza al cambiamento, o comunque grandi difficoltà ad adattarsi ad un sistema completamente diverso, per quanto possa essere considerato spesso, intuitivo;
- bassa partecipazione del personale dello stabilimento rispetto alle aspettative, alcuni perchè hanno sottovalutato il progetto, altri perchè avevano poco tempo a disposizione da dedicare al progetto;
- limite nell'attuazione del *future state* individuato al paragrafo 5.2.2 del Capitolo 5, sarà possibile quando il MES riuscirà ad integrarsi del tutto con il resto dei software presenti in azienda e con i dispositivi di rilevamento utilizzati;
- altro limite è dettato dal fatto che l'industria aerospaziale è caratterizzata da una serie di regolamenti governativi e standard a cui deve attenersi, per cui digitalizzare anche alcuni processi che riguardavano alcune attività di certificazione è stato limitante.

Si spera che nel tempo i limiti sopra citati vengano superati per sfruttare al massimo le potenzialità della *Digital Transformation*.

## 7.4 Passi futuri che l'azienda può compiere sulla base dei risultati ottenuti

Visti i benefici che potrebbero derivare dal lavoro di tesi il primo passo che la Microtecnica potrebbe compiere è quello di iniziare a formare e a far entrare nell'ottica i *key-user* e gli operatori delle altre celle che subiranno il processo di digitalizzazione.

Un'altro limite individuato, potrebbe essere superato dall'integrazione tra il MES Solumina e tutti i dispositivi di rilevamento informazioni in modo da poter fornire direttamente al software i dati rilevati, ad esempio, in alcuni casi nel rilevamento digitale delle quote o della pressione esercitata, il dispositivo non migra il dato a Solumina ma deve essere l'operatore a doverlo inserire manualmente nel collezionamento dei dati.

Dai risultati ottenuti inoltre, la standardizzazione della gestione dei cicli di lavorazione potrebbe essere riutilizzata quando la *Digital Transformation* sarà applicata alle altre

celle del gruppo *Collins Aerospace Italy*.

Per concludere, affinché il processo di *Digital Transformation* raggiunga la propria efficacia è fondamentale che ogni individuo presente all'interno dell'organizzazione abbia chiara la *vision*, per permettere ciò è bene integrare tutti i dipartimenti, anche quelli non coinvolti nel processo di implementazione del MES.

D'altro canto, più ci si addentra nel percorso di digitalizzazione più aumentano gli obiettivi da raggiungere se si considera che il progetto Pilota costituisce solo il primo passo, emerge allora, quanto sia importante diffondere l'approccio a tutta l'organizzazione, anche se, ad oggi, nello stabilimento di Torino si è solo all'inizio.

Infatti, il *digital*, non è percepito ancora come un nuovo modo di lavorare, motivo per cui non vi è un livello significativo di coinvolgimento. Probabilmente questo sarà legato ad aspetti culturali, la soluzione a questo potrebbe essere data da un maggiore impegno da parte del *management* per far in modo che l'approccio *digital* possa poi essere esteso in tutte le altre aree aziendali. Devono essere i manager dello stabilimento a dare il giusto esempio, accettando e favorendo il graduale abbandono dell'approccio tradizionale.

# *Ringraziamenti*

Credo che questa sia la parte più difficile da scrivere in una tesi, pur avendone scritte più di centocinquanta per questa non ho nè bibliografia, nè grafici da costruire, nè concetti da esplicitare.

Quando mi sono iscritta al Politecnico ero veramente confusa su quello che avrei dovuto fare nella mia vita, così decisi di iniziare il percorso in Ingegneria Aerospaziale, portato a termine e iniziata la laurea magistrale in strutture aeronautiche capii che quella strada non faceva più per me, avevo bisogno di percorrere una strada più dinamica, più entusiasmante e più affine a quella che è la mia persona, così documentandomi sui vari percorsi che offriva il Politecnico decisi di iscrivermi a Ingegneria Gestionale. Avevo sottovalutato le potenzialità di questo percorso, infatti più passava il tempo e più mi ricredevo e mi entusiasmaivo per la scelta fatta.

Ma adesso è giunta la fine, anche se a malincuore, perchè il Politecnico, tra *Odi et Amo*, è stata casa, per cui ritengo opportuno ringraziare alcune delle persone che hanno fatto parte del mio cammino universitario.

Inizierei con un grazie infinito alla mia relatrice, la **professoressa Anna Cagliano** per aver accettato per prima cosa di essere la mia relatrice e poi per avermi seguita con dedizione nella stesura dell'elaborato.

Un altro grazie infinito va al mio tutor aziendale **Francesco Accossato** per avermi proposto di collaborare con lui in questo progetto interessantissimo, facendomi scoprire un mondo nuovo.

Grazie ad entrambi perchè mi avete permesso di portare a termine questo fantastico percorso.

Grazie ai miei genitori, **Cettina** e **Antonio**, perchè mi avete sempre responsabilizzata

e lasciata libera di seguire le mie inclinazioni e non mi ha avete mai messo addosso complessi come: questo è da maschi e questo è da femmine.

Grazie per aver creduto sempre in me e avermi assecondato in ogni scelta cercando comunque di guidarmi verso la retta via, grazie per avermi dato la possibilità di coronare tutti i miei sogni, spero di rendervi orgogliosi, sempre.

Grazie a **Francesco**, il mio ragazzo, il mio migliore amico e la mia spalla, grazie per il suo amore puro e la sua pazienza, sempre accanto a me (anche se non è semplice farlo), grazie per aver affrontato insieme a me questo cammino, passo dopo passo, superando insieme tutte le difficoltà e festeggiando ogni vittoria.

Grazie perchè mi hai sempre coccolata e incoraggiata in tutto, grazie perchè hai sempre cercato di farmi vedere il bello in ogni cosa, grazie perchè questa mia vittoria è anche tua.

Grazie a mio fratello **Andrea**, sempre pronto ad ascoltarmi e a tenermi compagnia facendomi sentire a casa, tra liti e risate, con la sua presenza a Torino.

Grazie ai nonni, **Enza** e **Gaetano** per essere stati sempre presenti in qualsiasi momento del giorno e della notte, siete stati il faro e la luce, grazie anche ai nonni Carolina e Andrea perchè mi hanno guidata e protetta da lassù.

Grazie al resto della mia fantastica **famiglia**, agli zii Dora, Giusy, Cristina, Giovanni, Totò, Lillo e Benedetto, grazie ai miei fantastici cugini Pietro e Dalia e grazie ai due nuovi membri della famiglia Rosaria e Nino, con voi alle spalle tutto è stato più semplice e più bello, grazie per l'affetto che non mi avete mai fatto mancare.

Un grazie doveroso va a **Giusy**, la sorella che non ho mai avuto, perchè con i suoi suggerimenti ha sempre cercato di farmi ragionare facendomi sempre aprire gli occhi, grazie perchè mi hai aiutato con pazienza a superare le mie delusioni più grandi e grazie perchè continui a incoraggiarmi sempre.

Grazie ad **Agnese**, la mia compagna di avventure, sempre presente nella mia permanenza a Torino, grazie perchè mi hai sempre sopportata e apprezzata per come sono, soprattutto per aver sopportato i miei monologhi logorroici, sei un'amica sincera e speciale.

Grazie a **Federica C.** con la quale ho trascorso i miei ultimi anni di università, per le chiacchierate interminabili, per le risate, per i momenti belli e spensierati, per la sua

dolcezza. Grazie perchè mi hai fatto scoprire la bellezza di avere una persona sincera e leale a cui poter confidare i miei pensieri e le mie emozioni.

Grazie alla mia coinquilina **Laura** perchè ha alleggerito il mio soggiorno a Torino, perchè ha costituito la mia famiglia qui, se dovessi scegliere di nuovo coinquilina sceglierei ancora una volta te.

Grazie agli amici di università e agli amici di sempre, senza i quali sarebbe stato indubbiamente più difficile giungere a questo punto qui, Alessandra, Mauro, Simona, Liborio, Marco V., Flavia, Valentina, Vincenzo, Enzo, Marina, Dino, Angela, Damiano, Erika, Daniela, Stefano, Marco, Danilo, Ignazio, Federica.

Per concludere ringrazio gli amici della Microtecnica per le giornate spaziali che mi avete regalato, siete stati la mia famiglia negli ultimi 10 mesi, Teresa, Simone, Giovanna, Alessandro, Paolo, Maurizio, Francesco, Andrea, Gianni, Mirco, Marco, Angela, Vanessa, Carlo e Antonio, ma grazie soprattutto ai due cari amici **Davide** e **Saverio** perchè avete alleggerito e rallegrato le mie giornate di lavoro.

Vi ringrazio infinitamente

*Carola*

# Riferimenti

## Bibliografia

Aerospace & Defence, (2008), *Il settore Aerospaziale*, convention internazionale per l'aerospazio e la difesa, Torino.

Almada-Lobo F., (2016), *The Industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (MES)*, *Journal of innovation management*, 3(4), 16-21.

Azuma, R.T., (August 1997), *A survey of augmented reality*, *Teleoperators and Virtual Environments* 6, 4, 355-385.

Bacchetti, A., Zanardini, M., (2017), *IMPRESA 4.0, La trasformazione digitale della manifattura*, Laboratorio RISE (*Research & Innovation for Smart Enterprises*) dell'Università degli Studi di Brescia

Bagnoli, C., Bravin, A., Massaro, M., Vignotto, A., *I modelli di business vincenti per le imprese italiane nella quarta rivoluzione industriale*, Edizioni Ca'Foscari, Digital Publishing, Prima pubblicazione: 11 dicembre 2018.

Bechtold, J., Lauenstein, C., Kern, A., & Bernhofer, L., (2011), *Industry 4.0 - The Capgemini Consulting View*, Capgemini Consulting, Digital Transformation of Supply Chains, 1-36.

Beltrametti, L., Guarnacci, N., Intini, N., La Forgia, C., (2017), *La fabbrica connessa. La manifattura italiana (attra)verso Industria 4.0*, goWare e Edizioni Angelo Guerini e Associati SpA.

Bharadwaj, A., El Sawy, O.A., Pavlou, P.A., Venkatraman, N., (2013), *Digital business strategy: toward a next generation of insights*, *Journal MIS Quarterly*, Volume 37 Issue 2, Pages 471-482

Botthof, A., Hartmann, E.A., (2015), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, Springer

Bridges W. & Bridges S., (2017), *Managing Transition*, Hachette Books.

Butti, G., Maccaferri, F., (2012), *Metodi quantitativi per la valutazione dei rischi*, Sessione di Studio ISACA-AIEA 27/09/2012 - Torino

Buyya R., Dastjerdi A.V., (2016), *Internet of Things, Principles and Paradigms*, Morgan Kaufmann

Cantamessa M., Cobos E., Rafele C. (2007), *Il project management. Un approccio sistemico alla gestione dei progetti*, ISEDI

Clayton, M. C., (2009), *Exploring the Limits of the Technology S-Curve. Part I: Component Technologies*, Production and Operations Management 1(4):334 - 357, January

Silva Correia, M., (2014), *Industry 4.0 Framework, Challenges and Perspectives*. Master Thesis, Hochschule RheinMain: University of Applied Science, Master of Engineering.

Crawford, L. H., & Cooke-Davies, T. J. (2006). *Governing Projects For Corporate Excellence*. Proceedings of PMOZ Conference, 1-11. Retrieved from <http://epress.lib.uts.edu.au/research/handle/10453/7417>

Dell'Anna A. & Dell'Anna M., (2014), *Gestione di progetto e organizzazione di impresa*, Matematicamente.it, (15 settembre)

Deloitte, (2015), *Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*, Audit Tax Consulting, Corporate Finance

Fitzgerald M., Kruschwitz N., Bonnet D., Welch D., (2014), *Embracing digital technology: A new strategic Imperative*, Capgemini Consulting Worldwide. Retrieved from <https://www.capgemini-consulting.com/SMR>

Flouris T. G., Lock D., (2008), *Aviation Project Management*, Routledge; 1 edition (October 16)

Franchini S., López O., Antoin J., Bezdeneznykh N., Cuerva A., (2011). *Apuntes de Tecnología Aeroespacial. Escuela de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio*, Universidad Politécnica de Madrid

Franzoni, L., Zanardini, M., (2017), *Industria 4.0 in Italia e nel mondo I Governi rilanciano il manifatturiero*, Sistemi&Im(Smart Manufacturing), 68-72.

Furuhjelm, J., Segertoft, J., Justice, J., & Sutherland, J. J. (2017). *Owning the Sky with agile: Building a Jet Fighter Faster, Cheaper, Better with Scrum*, 1-4, Scruminc Journal.

Gabbai, Jonathan M. E, (2005), *Complexity and the Aerospace Industry: Understanding Emergence by Relating Structure to Performance using Multi-Agent Systems*, Thesis

submitted to The University of Manchester for the degree of Engineering Doctorate in the Faculty of Engineering and Physical Sciences.

Georgakopoulos D., Hornick M., Sheth, A., (1995), *An Overview of Workflow Management: From Process Modelling to Workflow Automation*, A. Distrib Parallel Databases 3: 119. <https://doi.org/10.1007/BF01277643>

Grendel, H., Larek, R., Riedel, F., & Wagner, J. C., (2017), *Enabling manual assembly and integration of aerospace structures for Industry 4.0 - Methods*, Procedia Manufacturing, 14, 30-37.

GTAI, (2016). *INDUSTRIE 4.0, Smart Manufacturing for the Future*. Retrieved 4 15, 2017, from Germany trade & invest Web site, <https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Service/Publications/business-information,t=industrie-40-smart-manufacturing-for-the-future,did=917080.html>

Harshak A., Schmaus B., Dimitrova D., (2013), *How to meet the challenge of multi-channel digitization*, Booz & Company.

Heynitz, H., Bremicker, M., Amadori, D. M., & Reshke, K., (2016), *The Factory of the Future. The industry 4.0. - The challenges of tomorrow*, KPMG 1-68. Retrieved from <https://www.kpmg.com/ID/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/factory-future-industry-4.0.pdf>

Highsmith J., Cockburn A., (2017), *Agile software development: the business of innovation*, in Computer, vol. 34, no. 9, pp. 120-127.

Hull C. W., (1986), *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*

iBaset, (2018), *Solumina, Manufacturing System Execution*

Jorgensen, N., 2006, *The Boeing 777: No chainsaw massacres, please!* Journal of Integrated Design and Process Science, v 10, n 2, p 79-91.

Kagermann P., Wahlster W., Helbig J., (2013), *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, Forschungsunion

Kaisler, S ; Armour, F ; Espinosa, J. A ; Money, W, (2013), *Big Data: Issues and Challenges Moving Forward*, Hawaii International Conference on System Sciences, Pages 995-1004 .

Kane G., Palmer D., Phillips A., (2015), *Strategy, not technology, drives digital transformation*, MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press, July 2015.

Kljajic, M., Bernik, I., & Skraba, A., (2000), *Simulation Approach to Decision assessment in Enterprises*. Simulation, 75(4), 199-210, <http://dx.doi.org/10.1177%2F003754970>

Kübler-Ross E., Kessler D., (2005), *On grief and grieving: Finding the meaning of grief through the five stages of loss*, Scribner

Lee J., Lapira E. Bagheri B., Kao H.A., (2013), *Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in Big Data environment*, in Manufacturing Letters, 38-41

Liere-Netheler K., Packmohr S., Vogelsang K., (2018), *Drivers of Digital Transformation in Manufacturing*, Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences, (January).

Liu, S., & Wei, J. (2018). *The Satellite on the Research of the Software Life Cycle: V + Iterative Waterfall*. Proceedings of 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference, IMCEC 2018, (Imcec), 1716-1720

Lupi M., (2016), *Gli elementi della Digital Transformation*, DigitalBreak

Marston S., Li Z., Bandyopadhyay S., Zhang J., Ghalsasi A., (2011), *Cloud computing-The business perspective*, Decision Support Systems, 176-189.

Massingham, P. (2010), *Knowledge risk management: a framework*, Journal of knowledge Management 14(3): 464-485

Middleton, P., Sutton J., (2005), *Lean Software Strategies: Proven Techniques for Managers and Developers*, New York: Productivity Press, p. 132-133, 191-192.

Morris P., Pinto J., (2007), *The Wiley guide to project, program, and portfolio management*, Wiley

Mrugalska B., Wyrwicka M.K., (2017), *Towards Lean Production in Industry 4.0*, Procedia Engineering, 466-473.

Negri E., Fumagalli L., Macchi M., (2017), *A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems*, 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, Modena, Italy

Peressotti V., (2016), *Il vero significato di Industry 4.0 Quali impatti avrà sulle aziende*, Sistemi e Impresa, n. 5,giugno-luglio

Perez, E., (2016), *Ariane 5 User's Manual*, Issued and approved by Arianespace, 1-20.

Pries K., Quigley J., (2010), *Scrum project management*, CRC Press

The PMBOK, Guide Sixth Edition, (2017), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, Project Management Inst.

PWC, (2014), *Industry 4.0 Opportunities and challenges of the industrial internet*

PWC, (2015), *Digital Manufacturing, Cogliere l'opportunità del Rinascimento Digitale*

Quayle, M. (1999). *Project management in European Aerospace plc: A case study*. *Industrial Management and Data Systems*, 99(5), 221-226

Radio Technical Commission for Aeronautics, 1 Dec 1992, *Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification*, Document RTCA/DO-0178B.

Raimondi M., (2013), *Il change management la gestione del cambiamento: Introduzione*, LIUC

Rausand, M. (2013). *Risk assessment: Theory, methods, and applications*, John Wiley & Sons.

Rodi, B., (2017), *Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm*. *Organizacija*, 50(3), 193-207. <https://doi.org/10.1515/orga-2017-0017>

Royce W. (1970), *Managing the development of large software systems*, ICSE '87 Proceedings of the 9th international conference on Software Engineering Pages 328-338

Rojo Abollado, J., Shehab, E., & Bamforth, P., (2017), *Challenges and Benefits of Digital Workflow Implementation in Aerospace Manufacturing Engineering*, *Procedia CIRP*, 60, 80-85. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.044>

Russman, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M., (April 2015), *Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, BCG, The Boston Consulting Group

Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2014). *Making existing production systems Industry 4.0-ready: Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments*. *Production Engineering*, 91(1), 143. <https://doi.org/10.1007/s11740-014-0586-3>.

Schwab K., (2017), *The fourth industrial revolution*, Currency.

Sheng R., (2019), *Systems Engineering for Aerospace: A Practical Approach*, Elsevier Science Publishing Co Inc

SCRUMstudy, (2006), *A Guide to the Scrum Body of Knowledge*, (SBOK Guide), 3rd edition

Soler M., (2014), *Fundamentals of Aerospace Engineering An Introductory Course to Aeronautical*, Amazon Digital Services

Todnem R., (2007), *Organisational change management: A critical review*, Journal of change management, 2005 - Taylor & Francis, Pages 369-380.

U.S. Government Accountability Office, (2015), *F-35 Joint Strike Fighter: Assessment to Address Affordability Challenges*, Report to Congressional Committees, GAO-15-364.

UTAS, (2018), *External-introduction to Utas Italy*, Torino

VanderLeest, S. H., & Buter, A. (2009). *Escape the waterfall: Agile for aerospace*. AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference - Proceedings, 6.D.3-1-6.D.3-16. <https://doi.org/10.1109/DASC.2009.5347438>

Visentin C., (2014), *MANAGEMENT: È ORA DI CAMBIARE!*, Supplemento allegato al n. 7-8.2014 di Harvard Business Review.

Wang S.; Wan J.; Li D.; Zhang C. *Implementing smart factory of Industrie 4.0: An Outlook*. Int J Distrib Sens Networks, 12(1), 2016, 1-23.

Wee, D., Kelly, R., Cattel, J., & Breunig, M., (2015), *Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector*, McKinsey & Company, 58.

Witkowski K., *Internet of Things, Big Data, Industry 4.0, Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management*

World Economic Forum, (January 2015), *Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services*, 40.

Wysocki R. K., (2014), *Effective Project Management: Traditional, Agile, Extreme*, Wiley India.

## Sitografia

[1] <http://siusa.archivi.beniculturali.it>

[2] <http://www.arianespace.com/vehicle/ariane-5/>

[3] <http://www.museotorino.it>

[4] <http://www.utc.com>

[5] <https://www.collinsaerospace.com>

- [6] <http://www.imprese.san.beniculturali.it>
- [7] <https://spacenews.com/ariane-5>
- [8] <https://www.digital4.biz/executive/industria-40>
- [9] <https://www.softwareadvice.com>
- [10] <http://agilemanifesto.org>
- [11] <https://www.scuolacamerana.it>
- [12] <https://codingjam.it/dal-waterfall-ai-principi-agili/>
- [13] <https://www.mst-toc.it>
- [14] <https://content.intland.com/blog/agile/agile-waterfall-hybrid/>
- [15] <http://www.humanwareonline.com/project-management/>
- [16] <https://www.projectmanagementeuropa.com>
- [17] <https://www.justprint3d.it>
- [18] <https://www.freelabster.com/it/blog/stampa-3d-ebm-electron-beam-melting/>
- [19] <http://www.intelligenzaartificiale.it>
- [20] <https://ricomincioda4.fondirigenti.it/potenzialita-simulazione-avanzata/>
- [21] <https://www.mediasoft.it/big-data4.html>
- [22] <https://www.stakeholdermap.com/project>
- [23] <https://www.softwaredevelopment.com>
- [24] <https://www.activecollab.com>
- [25] <http://knowledgeblob.com/agile/what-is-agile/>

- [26] <http://mall.industry.siemens.com>
- [27] <https://www.sistemieconsulenze.it/pdca-ciclo-di-deming/>
- [28] <https://www.gilb.com/>
- [29] <http://onofri.org/le-variabili-di-progetto-approccio-agile-e-tradizionale/>
- [30] <https://www.google.it/imghp?hl=it&tab=wi>
- [31] <https://www.smartdatacollective.com>
- [32] <https://cloud-techlfe.com>
- [33] <https://www.agendadigitale.eu/>
- [34] <http://www.italtel.com/it/focus-industria-4-0-e-cyber-security/>
- [35] <http://ergo-mtm.it/bella-factory/bellafactory-4-0>
- [36] <https://management30.com>
- [37] <https://www.projectsmaart.co.uk/project-management-process-groups-explained.php>
- [38] <https://www.easa.europa.eu>
- [39] <https://www.sdabocconi.it>
- [40] <https://sma.nasa.gov>
- [41] <https://www.isipc.it/i-sistemi-mes-e-il-loro-ruolo-nella-fabbrica-digitale/>
- [42] [https://blog.osservatori.net/it\\_it/smart-technologies](https://blog.osservatori.net/it_it/smart-technologies)
- [43] <https://mynext.it/2018/09/integrazione-verticale-e-orizzontale-dei-sistemi/>
- [44] <https://www.centrosoftware.com/cose-un-sistema-erp-di-ultima-generazione>
- [45] <https://www.stain.it/sistemi-mes.html>

[46] <https://tycosecurityproducts.com/CyberProtection>

[47] <http://www.whymatematica.com/?p=7389>

[48] <https://ukdefencejournal.org.uk/saab-offers-gripen-e-to-switzerland/>

[49] <http://ep.bao.ac.cn>