

# Politecnico di Milano

Scuola di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica - BV

Impianti di Produzione

FMEA - Applicazione all'Analisi dei Rischi di Progetto

Relatore: Prof. Franco Caron

Matteo Maria Vanoli

Matricola 780697

AA 2013-2014



# INDICE GENERALE

1.	Abstract .....	6
2.	Introduzione .....	7
2	Progetto e Project Management.....	9
2.1	Il progetto.....	9
2.2	Il Project Management e i suoi processi.....	13
2.3	I parametri gestionali del progetto.....	14
2.4	I criteri di successo .....	14
2.5	Organizzazione del progetto .....	15
2.6	Il ciclo di vita del progetto .....	16
3	Risk Management.....	19
3.1	La gestione dei rischi di progetto .....	19
3.2	La dinamica del rischio .....	24
3.3	I processi di analisi e gestione dei rischi di progetto.....	25
3.3.1	Risk Management Planning .....	25
3.3.2	Risk Identification .....	26
3.3.3	Risk Assessment.....	26
3.3.4	Risk Quantification.....	27
3.3.5	Risk Response Planning .....	28
3.3.6	Risk Monitoring and Control.....	30
3.4	La gestione degli stakeholder .....	30
4	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).....	33
4.1	Cenni storici .....	33
4.2	Introduzione .....	34
4.3	Terminologia della FMEA.....	35
4.4	Progettazione e applicazione della FMEA .....	39
4.5	Limiti della FMEA .....	40
4.6	Metodi derivati dalla FMEA classica.....	41
4.7	Confronto FMEA – HAZOP .....	42
4.8	Scale di valutazione dei parametri S, P, D .....	44
4.8.1	Tabella di classificazione del parametro <i>Severity</i> .....	45
4.8.2	Tabella di classificazione del parametro <i>Occurrence</i> .....	45
4.8.3	Tabella di classificazione del parametro <i>Detection</i> .....	46

5	Revamping Melfi Primer .....	47
5.1	Introduzione e Scopo di Fornitura a Capitolato .....	47
5.2	Descrizione del Ciclo di Funzionamento .....	50
5.3	Scopo di fornitura Verind .....	51
5.4	Suddivisione dello scopo di fornitura Verind tra i Sub-Fornitori.....	53
5.5	Time Schedule .....	54
6	Revamping Melfi Interni Base Coat e Depolveratura .....	58
6.1	Introduzione e Scopo di Fornitura a Capitolato .....	58
6.2	Descrizione del Ciclo di Funzionamento.....	61
6.3	Scopo di fornitura Verind .....	62
6.4	Suddivisione dello scopo di fornitura Verind tra i Sub-Fornitori.....	64
6.5	Time Schedule .....	65
7	Applicazione della Failure Modes end Effects Analysis.....	70
7.1	Preconditions.....	70
7.2	Smantellamenti .....	72
7.3	Modifiche cabina .....	74
7.4	Montaggi meccanici.....	75
7.5	Montaggi elettrici .....	77
7.6	Dry Commissioning.....	79
7.7	Wet Commissioning.....	80
7.8	FMEA varie.....	82
8	Conclusioni e sviluppi futuri .....	84
8.1	Melfi Primer Revamping.....	84
8.2	Melfi Interni Revamping.....	87
8.3	Conclusioni e sviluppi futuri .....	89
9	Appendice A.....	91
10	Appendice B.....	124
11	Appendice C.....	159
12	Bibliografia.....	170

## Indice Figure e Grafici

2.1	Schema degli Stakeholder .....	11
2.2	Strutture Permanenti .....	15
2.3	Le Fasi del Ciclo Vita del Progetto .....	16
2.4	Influenza delle Modifiche al Progetto .....	17
2.5	Relazione tra Cicli di Vita dell'Investimento.....	17
2.6	Esposizione Finanziaria.....	18
2.7	Cash Flow.....	18
3.1	Valore di Predisposizione al Rischio .....	23
3.2	Risk Plane.....	27
3.3	Risk Cube .....	27
3.4	Risk Interest Power - Level .....	32
4.1	Pareto Curve .....	38
5.1	Layout SATA Melfi Primer.....	52
5.2	Gantt Generale SATA Melfi Primer.....	55
5.3	Gantt Installazione.....	56
5.4	Gantt Commissioning .....	56
5.5	Gantt Esterni - 1.....	57
5.6	Gantt Esterni - 2.....	58
6.1	Layout L1 L2.....	63
6.2	Gantt Generale L1 L2 .....	66
6.3	Dettaglio Gantt L1 L2 - 1.....	68
6.4	Dettaglio Gantt L1 L2 - 2 .....	68
6.5	Dettaglio Gantt L1 L2 - 3.....	69
6.6	Dettaglio Gantt L1 L2 - 4.....	69
8.1	Float delle attività di installazione rinforzi .....	85
8.2	Data Effettiva JOB 1 .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b> 5
8.3	Eventuale JOB 1 Causa Ritardi .....	86
8.4	Eventuale inizio installazioni robot a causa di ritardi di consegna.....	87
8.5	Possibile JOB 1 .....	88

## 1. Abstract

La FMEA, o la sua estensione FMECA (Failure Mode and Criticality Analysis), è uno strumento usato per analizzare sistematicamente, qualitativamente e iterativamente le possibili modalità di guasto e rottura di un componente o di un insieme di componenti, se applicata all'analisi di prodotti, o dei rischi legati ai processi e ai progetti, se applicata a questi ultimi. Il contributo fornito dalla FMEA alla progettazione di componenti e/o assiemi o alla gestione di progetti o verifica di sistemi, è strettamente legato alle tempistiche con cui tale analisi viene svolta e ai processi di applicazione e controllo che seguono la fase iniziale di analisi.

In questo lavoro di tesi è stata applicata al fine di migliorare la gestione dei rischi legati a due progetti di revamping di linee di verniciatura automatica.

Questa tipologia di analisi è stata eseguita preventivamente, basandosi principalmente su considerazioni teoriche e solo in minor parte sperimentali; data la speciale caratteristica dei progetti in esame, che sono simili ad altri già eseguiti dall'Azienda presso cui è stato svolto questo lavoro di tesi, si è potuta eseguire un'analisi fruendo anche di esperienze pregresse e analisi di dati storici registrati nel sistema informatico aziendale.

Poiché tale metodologia non fa ancora parte del sistema aziendale di gestione della qualità e di PM, è stato deciso di applicarla a due progetti pilota di dimensioni controllate.

Visti i risultati che l'applicazione di tale metodologia ha comportato, si è deciso di procedere con una standardizzazione della procedura stessa plasmata sulle esigenze dell'azienda; avendo i progetti di *revamping* delle componenti comuni si potranno già sfruttare i risultati riportati nelle schede FMEA per poter iniziare, in una prima fase, a prevedere le azioni correttive da intraprendere. Per agevolare il lavoro futuro si è deciso di non usare una scala decimale per i parametri oggetto di analisi, ma una scala ridotta a sole tre voci di valutazione, che corrispondono ad un "rischio" basso, medio ed alto, così da avere una più rapida possibilità di analisi e risultati più semplicemente identificabili.

## 2. Introduzione

Dato l'elevato livello di incertezza che caratterizza il progetto, il rischio (inteso come possibilità che i risultati di progetto possano divergere da quanto atteso in seguito a circostanze favorevoli o sfavorevoli) rappresenta un elemento intrinseco del progetto.

Scopo specifico della analisi e della gestione dei rischi (PRAM, *project risk analysis and management*) è quello di mettere a fuoco l'incertezza che caratterizza il progetto, dal momento che gli altri processi gestionali di project management ipotizzano in generale un grado di conoscenza deterministico e quindi poco realistico dei parametri di progetto.

In generale nell'ambito del progetto possiamo distinguere due distinte problematiche:

- l'allocazione dei rischi: l'insieme dei rischi riguardanti il progetto viene ripartito, in genere su base contrattuale, tra i diversi stakeholder. Il criterio ideale di allocazione dei rischi prevede che ogni rischio sia assegnato a chi è meglio in grado di gestirlo sia in termini di efficacia che di costo;
- La gestione dei rischi: una volta definita l'allocazione dei rischi, ogni stakeholder, si trova ad affrontare il problema della gestione della propria quota di rischi. Due strade percorribili:
  - Analisi e gestione dei rischi di progetto: si adotta un approccio sistematico di analisi e gestione dei rischi di progetto (PRAM) volto a identificare le necessarie misure di mitigazione;
  - Contingency: si accantonano riserve a copertura dei possibili imprevisti. Adatto a rischi residuali di progetto, cioè quelli non formalmente identificati, analizzati e gestiti.

La metodologia PRAM si basa su un approccio predittivo, proattivo, iterativo, formale ed è una parte intrinseca della gestione del progetto. Essa si articola in una sequenza di processi:

- Risk management planning;
- Risk identification;
- Risk assessment;

- Risk quantification;
- Risk response planning;
- Risk monitoring and control.

Fin tanto che esiste un qualche grado d'incertezza nel progetto ( ossia fin tanto che esiste una quota di lavoro da completare), la PRAM mantiene un ruolo determinante ai fini del successo del progetto: la fase iniziale è certamente la più critica, in quanto vengono prese decisioni fondamentali che vincolano lo sviluppo successivo del progetto e quindi anche la possibilità di mitigare minacce e cogliere opportunità. Successivamente occorre un costante monitoraggio e controllo del progetto, sia rilevando i cambiamenti che subentrano nel progetto sia implementando azioni di risposta pianificate. Infine, durante la chiusura del progetto, devono essere raccolti gli insegnamenti acquisiti durante lo svolgimento del progetto, utili nel futuro.

I processi PRAM non rappresentano affatto un sostituto dei tradizionali processi di pianificazione e controllo del progetto. Essi aggiungono la considerazione dei rischi e della variabilità dei parametri di progetto nello sviluppo dei processi tradizionali. Le conoscenze relative all'incertezza del progetto incrementano il bagaglio informativo utile per la pianificazione e il controllo del progetto.

Scopo di questo lavoro di tesi è l'applicazione della Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) come strumento della PRAM per l'identificazione, la valutazione e la pianificazione delle azioni di risposta conseguenti ai rischi legati ai progetti di revamping di linee di verniciatura automatica scocche presso lo Stabilimento Fiat di Melfi; tale approccio può essere utilizzato, in forma più ampia e complessa, anche per progetti di E&C da prato verde.

Si è deciso di focalizzare questo lavoro di tesi solamente sui progetti di revamping in quanto ritenuti più idonei per una prima fase di studio e sperimentazione presso l'Azienda; l'applicazione della FMEA come strumento per l'analisi e la gestione dei rischi relativi ai progetti infatti non fa ancora parte del Sistema di Qualità Aziendale della Verind S.p.A., società presso cui tale studio è stato svolto.

## 2 Progetto e Project Management

### 2.1 Il progetto

Il Project Management (PM) riguarda la gestione di *processi operativi non ripetitivi*; si tratta quindi di processi che hanno come contenuto un cambiamento e quindi introducono necessariamente contenuti innovativi.

In generale il progetto può essere definito come un processo realizzativo non ripetitivo il cui output può essere un prodotto fisico, un servizio o più in generale un risultato quale una trasformazione introdotta in una struttura organizzativa. In letteratura possono essere trovate molte definizioni diverse di "progetto":

1987	1992	PMIBok 2004	Turner, 2003
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinazione di risorse umane e non,</li> <li>• Riunite in un'organizzazione temporanea,</li> <li>• Per raggiungere un obiettivo definito,</li> <li>• Con risorse limitate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un processo temporaneo,</li> <li>• Finalizzato alla produzione di una o più unità di un unico prodotto o servizio,</li> <li>• Le cui caratteristiche vengono elaborate progressivamente.</li> </ul>	"A project is a temporary endeavor undertaken to create a unique product, service or result"	A projet is a temporary organisation to which resources are assigned to undertake a unique, novel and transient endeavour managing the inherent uncertainty and need for integration in order to deliver beneficial objectives of change

A prescindere dalle definizioni utilizzate, è possibile sintetizzare le caratteristiche ricorrenti del "progetto" in questo modo:

- Obiettivi definiti, a priori;
- Unicità (non ripetitività);
- Elaborazione progressiva;
- Temporaneità;
- Integrazione multidisciplinare;
- Disponibilità limitata di risorse;
- Incertezza/ imprevedibilità.

I progetti possono essere suddivisi in:

- Progetti interni. Corrispondono a processi di innovazione interna che caratterizzano in generale l'evoluzione aziendale (es: R&D di nuovi prodotti, ingegnerizzazione nuovi processi, installazione/modifica/ampliamento impianti, revisione/espansione del layout,...)
- Progetti esterni. Riguardano la fornitura a terzi di prodotti e/o servizi (es: società di Engineering & Contracting)

Il progetto comporta la costituzione di una macro-rete temporanea di organizzazioni e gruppi sociali che rappresentano gli attori ("stakeholder") del progetto. Tali attori, caratterizzati ciascuno da obiettivi e vincoli propri, costituiscono il "contesto" in cui si sviluppa il progetto e possono talvolta esercitare un'influenza determinante nel successo del progetto stesso. Nel settore Engineering&Contracting le relazioni tra gli attori coinvolti nel progetto possono essere schematizzate sinteticamente nel seguente modo:

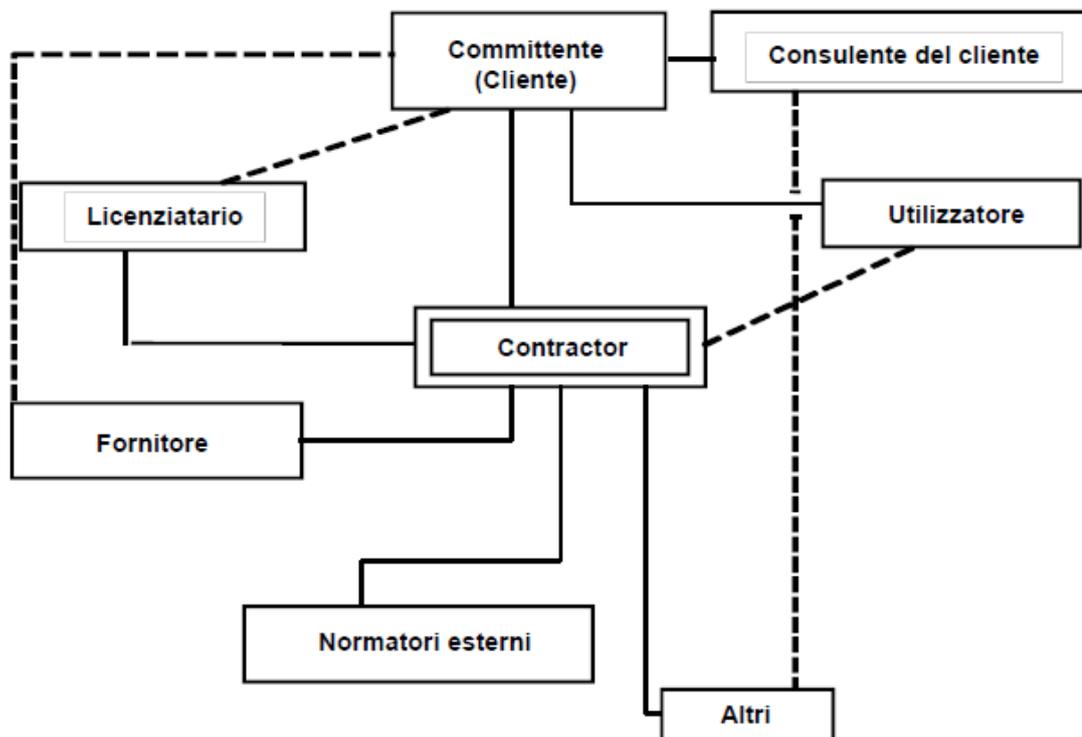


Figura 2.1 – Schema degli Stakeholder

Tutti gli attori che svolgono un ruolo funzionale nell'ambito del progetto sono legati da relazioni di tipo contrattuale.

Esaminiamo singolarmente gli attori e i ruoli indicati in figura:

<p>Utilizzatore</p>	<p>È chi usufruirà dell'output del progetto. Da lui proviene, direttamente o attraverso la mediazione del committente, l'esigenza che ci si propone di soddisfare. Per i progetti oggetto di studio di questo lavoro di tesi l'utilizzatore è lo Stabilimento Fiat Group Automobiles (FGA) di SATA Melfi.</p>
<p>Committente</p>	<p>È colui che emette una richiesta di offerta per la realizzazione del progetto. Al termine della gara, assume la responsabilità della gestione del contratto stipulato con l'azienda che si è aggiudicata la commessa. Tale responsabilità qualifica il committente come interlocutore diretto</p>

	dell'appaltatore ("contractor") fino al completamento del progetto stesso. Per i progetti oggetto di studio di questo lavoro di tesi il Committente è Fiat Group Automobiles.
Contractor ( o main contractor)	È l'azienda ( o l'insieme di aziende) che, avendo vinto la gara, stipula con il committente il contratto di fornitura. Per i progetti oggetto di studio di questo lavoro di tesi il Main Contractor è Verind S.p.A..
Licenziatario	Il contenuto tecnologico del progetto ( es: un brevetto del processo produttivo) che Committente e Contractor giudicano conveniente utilizzare, può non essere patrimonio dei partecipanti al progetto. In questi casi si devono attivare trattative con il proprietario della tecnologia e del relativo know-how, al fine di ottenere la licenza necessaria e istituire eventuali rapporti di collaborazione. Per i progetti oggetto di studio di questo lavoro di tesi il Licenziatario, ma anche Fornitore è Dürr AG.
Fornitore	È generalmente il terzo presso cui vengono acquistati i materiali necessari all'esecuzione del progetto ("vendor"). Può anche essere l'impresa cui vengono appaltati i lavori di costruzione/montaggio ("sub contractor").
Normatori Esterni	Enti normatori competenti ai vari livelli (locale, nazionale, internazionale) e nei diversi ambiti geografici (località interessate dalla realizzazione del progetto, sede dell'azienda appaltatrice, ...) nelle materie inerenti il progetto. Rappresentano un riferimento determinante sia in fase di impostazione che di esecuzione del progetto.
Altri	Persone o enti esterni sui quali il progetto ha qualche rilevante ricaduta (es: popolazione residente nell'area limitrofa all'impianto.)

## 2.2 Il Project Management e i suoi processi

Nell'ambito del progetto possiamo identificare tre tipi di processi:

1. **Processi operativi**, riguardano l'avanzamento fisico del progetto. Nel settore Engineering&Contracting possiamo identificare: Ingegneria (Design), Approvvigionamento (Procurement), Costruzione/Montaggio (Construction), Avviamento/Collaudato (Commissioning / Test);
2. **Processi gestionali**, riguardano il coordinamento del progetto sulla base del piano di realizzazione: start up, planning, monitoring&executing, control, close-out;
3. **Processi organizzativi**, riguardano la gestione delle risorse umane (selezione, formazione, definizione ruoli, carriere, ecc.).

I processi gestionali rappresentano l'ossatura del PM. Vediamo a questo riguardo le definizioni date dal Project Management Institute:

- *"PM is the application of knowledge, skills, tools, and techniques to project activities to meet project requirements"(2004);*
- *"PM is accomplished through the application and integration of the project management processes of initiating, planning, executing, monitoring, controlling and closing"(2004)*

La modalità con cui, nell'ambito di un'azienda operante per progetti, vengono condotti i diversi processi di PM è formalizzata nel Sistema di PM: *"The PM system is the set of policies, processes, tools, techniques, methodologies, resources and procedures used to manage a project"* (PMI, 2004)

Mentre il Sistema di PM appartiene all'azienda (e quindi è migliorabile con l'esperienza), il Piano di Gestione del Progetto (*Project Management Plan*) riguarda uno specifico progetto e descrive le modalità con cui verranno condotti i diversi processi nell'ambito del progetto stesso.

## 2.3 I parametri gestionali del progetto

Tradizionalmente i parametri gestionali caratteristici del progetto sono individuati nella classica triade: tempo, costo e qualità.

Questi parametri sono tra loro interdipendenti e in trade-off e rappresentano l'oggetto dell'azione di pianificazione e controllo propria del PM: ogni progetto deve essere completato soddisfacendo i requisiti contrattuali e rispettando prefissati vincoli di tempo e di costo.

Se si considera il processo di controllo del progetto, una diversa triade, che meglio mette a fuoco gli aspetti dinamici del progetto, è basata per esempio sui seguenti parametri: avanzamento, modifiche, rischio. Vengono messe a fuoco le variazioni dello "scope of work" e/o delle specifiche di prodotto (change), dell'avanzamento del progetto (progress) e dei rischi realizzativi (risk).

## 2.4 I criteri di successo

Se ampliamo la visione del progetto considerandone non solo l'intero ciclo di vita ma anche gli effetti strategici e soprattutto l'insieme degli stakeholder coinvolti, anche la definizione di successo del progetto subisce un ampliamento, al di là della triade valore, baseline, rischio precedentemente introdotta.

Possiamo ritenere cioè che il successo del progetto implichi la soddisfazione dei diversi stakeholder coinvolti e riguardi quindi una molteplicità di aspetti: redditività, funzionalità tecnica, accettabilità sociale, sostenibilità ambientale, legittimità politica, sviluppo economico locale, ...

Possiamo quindi distinguere diverse dimensioni del successo di un progetto:

- Successo della gestione del progetto (*process success*), riguarda i processi operativi, gestionali e organizzativi tipici;
- Successo del risultato del progetto (*product success*), riguarda i deliverables del progetto, in particolare in termini di prestazioni funzionali;
- Successo del contributo al business del committente da parte del progetto (*business success*), in termini di benefici attesi e posizionamento strategico;

- Successo dell'impatto sul contesto più ampio e di lungo periodo (*Overall Impact*) , per esempio in termini di sviluppo economico a livello locale;

## 2.5 Organizzazione del progetto

Il progetto può anche essere definito come un'organizzazione temporanea.

Facendo riferimento al caso delle società di E&C, alla macro-rete esterna, corrisponde una micro-rete interna, costituita dai diversi ruoli aziendali che, a vario titolo, sono coinvolti nella realizzazione del progetto. Tale micro-rete, costituita innanzitutto dal Project Manager e dal Project Team, corrisponde di fatto a una struttura organizzativa temporanea, finalizzata al conseguimento degli obiettivi di progetto.

Le società di E&C, in quanto operanti per progetti, sono caratterizzate da una matricialità intrinseca, che prevede la compresenza di strutture permanenti differenziate per funzioni e di strutture temporanee inter funzionali.

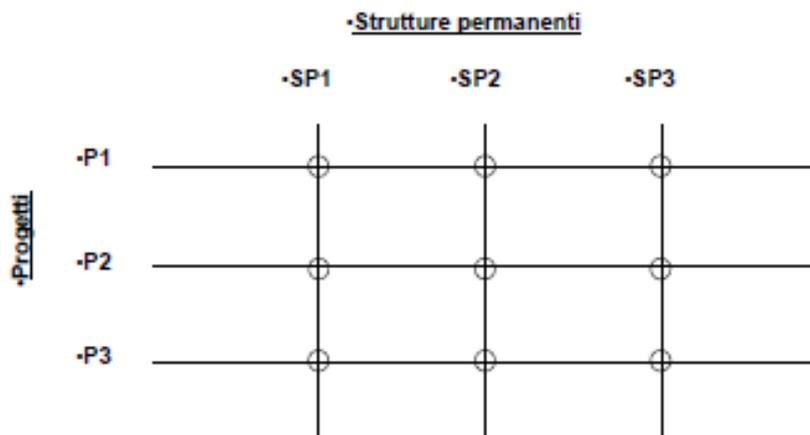


Figura 2.2

## 2.6 Il ciclo di vita del progetto

Il progetto è caratterizzato in generale da un ciclo di vita che si articola in una sequenza standard di fasi e che coincide con la durata della struttura temporanea (Project Team) adibita al coordinamento delle attività previste :

### Le fasi del ciclo di vita del progetto

fasi	Influenza sui costi	Configurazione di prodotto/progetto
Concettuale	determinante	impostata
Definizione	elevata	dettagliata
Realizzazione	decescente	congelata
Rilascio	trascurabile	mantenuta

Figura 1.3

- Fase concettuale: riguarda l'impostazione strategica del progetto (m/b, configurazione del p/s da fornire,...). Coinvolge una quantità limitata di risorse estremamente qualificate, pur presentando una esigua incidenza sui costi di progetto, condiziona in modo decisivo le prestazioni ottenibili in termini di tempo, costo e qualità;
- Fase di definizione, dettagliata dei risultati attesi dal progetto e dei relativi piani operativi di realizzazione;
- Fase di realizzazione, prevede la mobilitazione delle risorse necessarie per il completamento dell'iniziativa. È invece caratterizzata da una limitata possibilità di modificare "in corso d'opera" l'evoluzione del progetto, se non sostenendo costi rilevanti.
- Fase di rilascio/ trasferimento, all'utilizzatore finale.



Figura 2.4

Queste considerazioni stanno alla base di quello che può essere considerato un assioma fondamentale del PM, vale a dire la *criticità della fase di impostazione iniziale al fine di garantire il successo del progetto*.

Gli andamenti riportati sopra spiegano l'esistenza, nel ciclo di vita, di un intervallo temporale in cui risultano più facilmente prevedibili e governabili gli esiti finali del progetto. Tale intervallo si trova attorno all'interfaccia tra definizione e realizzazione del progetto.

Possiamo stabilire una relazione tra cicli di vita dell'investimento, dell'impianto e del progetto:

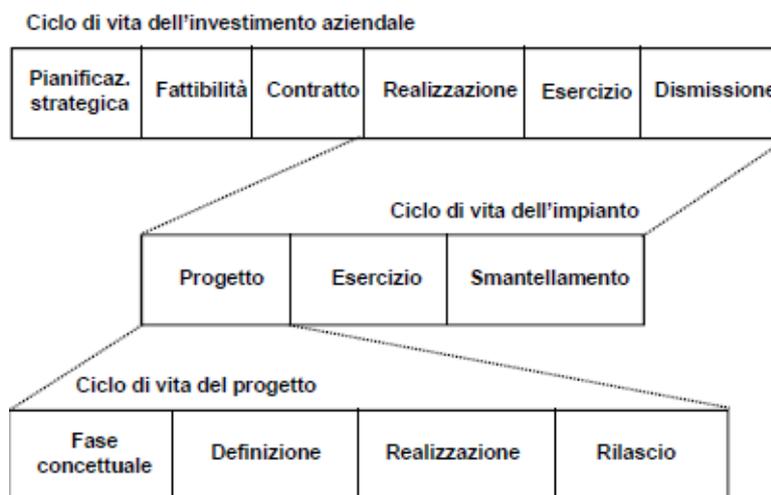


Figura 2.5

Nel settore E&C il ciclo di vita del progetto di realizzazione si articola in una sequenza tipica di fasi: *ingegneria di base, ingegneria di dettaglio, approvvigionamento, costruzione/montaggio, avviamento e collaudo*.

Ultimo aspetto riguarda l'esposizione finanziaria di committente e contractor, riassunte brevemente e schematicamente nelle figure sotto riportate:

Esposizione finanziaria (project balance)

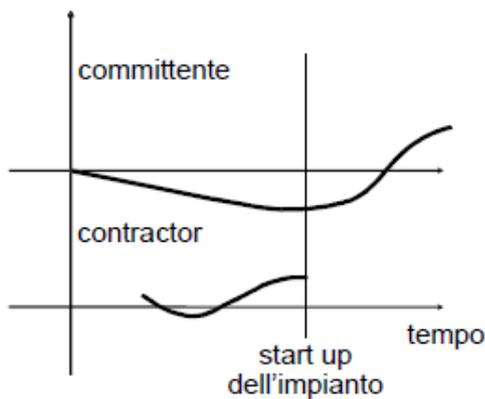


Figura 2.6

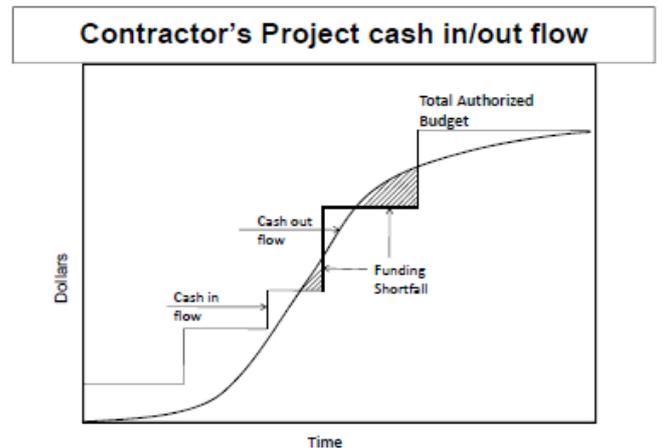


Figura 2.7

Come si può osservare l'esposizione del contractor è inferiore a quella del committente sia in termini economici che temporali. Il committente potrà usufruire dei benefici e guadagni derivanti dalla conclusione del nuovo progetto solamente una volta che l'impianto sarà entrato in funzione a regime, mentre il contractor, il cui coinvolgimento termina con l'avviamento dell'impianto (a meno di accordi contrattuali specifici che possono, ad esempio, riguardare l'addestramento del personale o la manutenzione di alcuni macchinari più delicati), è già in fase di fatturazione finale.

## 3 Risk Management

### 3.1 La gestione dei rischi di progetto

All'interno di un qualsivoglia progetto possono essere identificati due diversi versanti di rischio:

1. Esterno, ossia riguardante l'interfaccia con il cliente e quindi il "valore" che il progetto trasferisce al cliente;
2. Interno, ossia riguardante l'organizzazione incaricata della realizzazione del progetto e quindi i vincoli imposti dalla baseline di progetto in termini di costi, tempi e qualità.

Entrambi i versanti sono soggetti al fenomeno del rischio: sul versante "esterno" può verificarsi per esempio che i requisiti posti dal cliente non siano sufficientemente compresi o esplicitati, oppure l'offerta non risulti sufficientemente adeguata a tali requisiti. Sul versante "interno" possono invece verificarsi i tipici rischi di superamento del budget o ritardo di completamento, oppure l'offerta risulti fornire un impianto con capacità e caratteristiche superiore alle richieste del Cliente.

Se si volesse sfruttare un approccio al PM basato sul rischio, si dovrebbero pertanto considerare tre elementi fondamentali: il valore del progetto così come è percepito dal cliente, la baseline di progetto e i rischi di progetto, non sarebbero quindi da prendere in considerazione i tre parametri classici tempo-costo-qualità. In questo modo il ciclo di vita del progetto viene esteso al di là della fase strettamente esecutiva, condizionata dalla baseline di progetto, finendo a includere almeno la fase di preparazione dell'offerta e di allineamenti tecnici conseguenti all'offerta, ma che ancora sono parte della fase di "proposal", in cui la baseline di progetto viene definita, poiché le promesse fatte al cliente durante l'offerta, una volta ratificate contrattualmente, a fronte quindi di un ordine sottoscritto da entrambe le parti, si traducono in vincoli di progetto.

I concetti fondamentali riguardanti i rischi di progetto possono essere così schematizzati ed esplicitati:

- E' necessario innanzitutto distinguere il concetto di rischio ("risk management") da quello di crisi ("crisis management"). Nel primo caso si tratta di un evento futuro possibile, che richiede pertanto un approccio predittivo e/o proattivo; nel secondo caso si parla di un evento imprevisto accaduto, quindi non identificato in fase di "risk identification", che richiede pertanto un approccio reattivo;
- Viene definito "rischio/opportunità di progetto" un evento o una condizione incerta sfavorevole/favorevole che se si verifica genera un impatto rilevante negativo/positivo per il successo del progetto, per esempio in termini di costo, tempo di completamento o prestazioni tecniche ottenute. Per poter meglio definire i rischi/opportunità possiamo introdurre accanto alla definizione di rischio anche il concetto di "ipotesi di progetto" (*project assumption*), ossia le ipotesi sottostanti la pianificazione del progetto, che, se non si realizzano, possono allo stesso modo compromettere il successo del progetto;
- Parlando di rischi di progetto si intende innanzitutto mettere in evidenza i *rischi rilevanti (major risk)*, ossia quelli che singolarmente considerati possono influenzare in modo significativo il successo del progetto sia in termini positivi che negativi (es. errore nella previsione della domanda commerciali, errore nella previsioni della capacità produttiva dell'impianto, approvazione di nuove norme o leggi o anche standard aziendali, fallimento di un fornitore o di un secondo sub-contrattor del Cliente Finale, anomalie impreviste nel processo tecnologico). Accanto ai rischi rilevanti, quando si renderà necessario determinare la variabilità dei parametri di performance di progetto, i rischi di progetto dovranno essere espressi in termini di "*variabilità dei parametri caratteristici del progetto*", ossia, ad esempio, delle singole voci di costo o le durate di singole attività. In sintesi, tre diverse "visioni" del rischio: ipotesi, rischi rilevanti, variabilità dei parametri.
- I rischi di progetto possono essere analizzati a differenti livelli di dettaglio a seconda del punto di vista adottato.

- a. Il livello più sintetico può essere definito “*livello di contesto*” e riguarda tutti i rischi rilevanti di progetto che possono emergere nel contesto più ampio in cui il progetto si colloca, comprendendo diversi aspetti (politico, economico, sociale, tecnologico, legale, ambientale) nonché tutti gli stakeholder coinvolti;
- b. Presupponendo che i rischi di progetto siano stati allocati contrattualmente, il secondo livello può essere definito “*livello societario*”, cioè riguardante la singola società coinvolta nel progetto; tale allocazione però non esclude la possibilità che taluni rischi allocati ad una diversa società non si ripercuotano su un'altra, compromettendone i risultati o il raggiungimento degli scopi specifici di progetto della seconda compagnia;
- c. Il terzo livello riguarda i *risk owners*, ossia tutti i ruoli organizzativi incaricati nell'ambito dell'organizzazione di progetto della gestione dei singoli rischi.

Possiamo dire che al secondo livello si considerano una parte dei rischi identificati al primo livello mentre al terzo livello si sviluppa un'analisi di dettaglio dei singoli rischi appartenenti al secondo livello. Il crescente livello di dettaglio dell'analisi è legato all'avanzamento del ciclo di vita del progetto, e quindi alla maggiore quantità di informazioni disponibili, e al maggior coinvolgimento dei vari “stakeholder”, con le relative competenze e conoscenze.

Possiamo definire “*sorgente di rischio*” (o “*sorgente di incertezza*”) è qualsiasi elemento del progetto o del contesto di progetto che, attraverso una catena di eventi, può influenzare significativamente, nel bene e nel male, il successo del progetto (es. fornitore). E' possibile classificare le sorgenti di incertezza in:

- *Interne*: ossia riguardanti gli elementi interni alla società incaricata di realizzare il progetto. Tali sorgenti sono classificabili come *operative, manageriali, organizzative*.
- *Esterne*: ossia riguardanti gli elementi del contesto di progetto, generalmente meno controllabili rispetto a quelle interne, quali per esempio i concorrenti, altre società chiamate a lavorare in parallelo sul medesimo progetto, il mercato, il sito, le condizioni meteorologiche, i tassi di cambio, ecc. Tali sorgenti sono classificabili come *politiche, economiche, sociali, tecnologiche, legali e ambientali*.

Un ulteriore approccio alla classificazione dei rischi di progetto è basato sul ciclo di vita del progetto. Dal punto di vista di un contractor operante nel settore E&C possiamo identificare i seguenti rischi:

- *Rischi di fattibilità*: tipici del cliente, riguardano la possibile inadeguatezza della soluzione tecnica adottata o la carente giustificazione economico/finanziaria del progetto, ossia la mancata considerazione di possibili alternative più valide;
- *Rischi competitivi*: tipici del contractor, riguardano l'acquisizione del contratto, sia nel senso di non interpretare correttamente i requisiti del cliente nella formulazione dell'offerta sia nel senso di non proporre un'offerta competitiva, sia nel proporre una soluzione non completamente analizzata in dettaglio;
- *Rischi esecutivi*: riguardano l'esecuzione del progetto e quindi il mancato rispetto di obiettivi di progetto in termini di tempi, costi e prestazioni tecniche;
- *Rischi di esercizio e manutenzione*: dovrebbero essere considerati, sia dal punto di vista del Contractor che da quello del Cliente, già nelle fasi preliminari, poiché le scelte effettuate in fase di fattibilità, offerta ed esecuzione possono compromettere l'efficienza dell'impianto o le sue caratteristiche di affidabilità, disponibilità e manutenibilità;
- *Rischi di dismissione*.

Durante la fase preliminare del progetto ogni sorgente di incertezza può apparire assolutamente neutra, ossia in grado di generare un rischio o un'opportunità, e soltanto in fase di avanzamento del progetto, se non opportunamente monitorata e non sfruttata, può innescare una catena di eventi che possono portare a minacce invece che opportunità rilevanti per il progetto. Una sorgente può quindi trovarsi cioè in uno *stato* che finisce col determinare una minaccia piuttosto che un'opportunità. Lo stato di una sorgente di incertezza che può dar luogo a uno o più rischi è quindi descritto dalla *causa di rischio*. Tale causa rappresenta cioè l'evento iniziale di una catena di eventi terminante nell'evento di rischio vero e proprio.

Possiamo descrivere un *rischio rilevante* di progetto (*major risk*) attraverso due parametri principali: la *probabilità di accadimento* ( che nella metodologia FMEA viene identificata tramite il

parametro *Occurrence*) e la *magnitudo dell'impatto* (che nella metodologia FMEA viene indentificata tramite il parametro *Severity*), ossia l'impatto che tale *major risk* avrà sul successo del progetto in termini di tempi, costi e prestazione tecnica del prodotto. Questi due parametri sono valutabili sia in termini qualitativi che in termini quantitativi. In questo secondo caso il prodotto della probabilità di accadimento per la magnitudo dell'impatto, che può essere definito come *l'esposizione al rischio*, rappresenta il valore atteso dell'effetto dell'evento sfavorevole/favorevole considerato sui risultati di progetto. L'esposizione al rischio può essere valutata a differenti livelli (es. singolo rischio, singolo stakeholder, intero progetto, portafoglio progetti)

Bisogna sempre tener presente che un rischio può avere una o più cause/sorgenti, legate generalmente da vincoli di tipo OR/AND e può generare differenti effetti per esempio sul costo, sul tempo o sulla funzionalità tecnica.

Gli effetti conseguenti ad un rischio possono essere definiti seriali (additivi) o paralleli (non additivi).

La Fig. 3.1 mostra come sia possibile ottenere un valore predefinito di esposizione al rischio sia combinando un'elevata probabilità di accadimento (*O*) con una bassa magnitudo (*S*) o viceversa. La FMEA, come sarà spiegato in seguito, introduce un terzo parametro, *Detection* (*D*), che concerne la metodologia e il livello di controllo relativi al rischio e la sua sorgente. Nella figura vengono descritte due possibili modalità di riduzione del rischio: la *prevenzione*, ossia agire sulle cause e/o sui metodi di controllo e quindi sulla *Occurrence* o *Detection* di accadimento, e la *protezione*, ossia agire sugli effetti, *Severity*, e quindi sulla magnitudo dell'impatto.

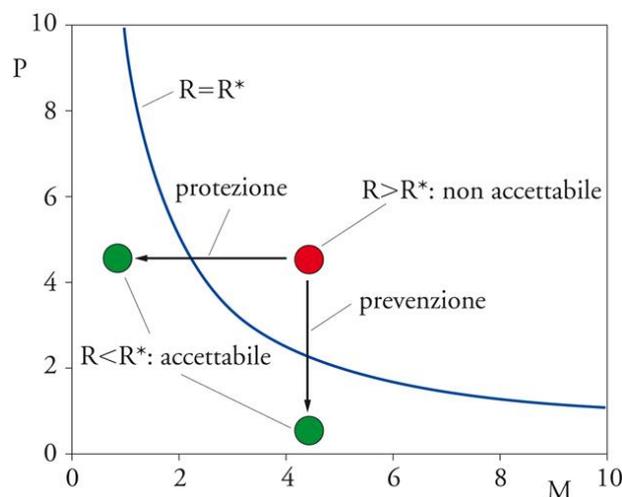


Figura 3.1

## 3.2 La dinamica del rischio

L'analisi dei rischi di progetto richiede che siano considerati anche i parametri temporali che caratterizzano il singolo rischio quali la finestra temporale di accadimento del rischio, la durata del possibile impatto, il lead-time richiesto per l'implementazione dell'azione di risposta, ecc.

Se si analizza più nel dettaglio la dinamica del singolo rischio, si evince facilmente che: la sorgente di rischio rappresenta l'origine di quell'evento incerto sfavorevole/favorevole che chiamiamo rischio/opportunità. Generalmente la sorgente e l'evento rischio sono legati da una catena (*risk chain*) di eventi intermedi (*trigger event*) tramite cui è possibile descrivere la dinamica temporale del rischio. Tale descrizione risulta alquanto utile ed importante, in quanto, da una parte, l'evento intermedio (evento trigger) descrive un progressivo avvicinamento all'evento terminale di rischio e, dall'altra, costituisce un segnale utile all'implementazione di azioni di risposta al rischio.

Per questi motivi, l'analisi della dinamica temporale del rischio riveste un'importanza fondamentale al fine di identificare le misure di prevenzione (interventi sulla sorgente) o protezione (sugli eventi intermedi, così da interrompere lo sviluppo della catena di rischio) necessarie per la mitigazione del rischio. Infatti dall'analisi della dinamica temporale dei rischi è possibile arrivare, attraverso un approccio sistematico, all'identificazione delle azioni di risposta evidenziando:

- Azioni preventive non condizionate sulla sorgente per impedire che essa si trasformi in una causa di rischio; ossia azioni messe in atto a prescindere dalle condizioni in cui si trova la sorgente, lo stato di avanzamento del progetto etc.
- Azioni condizionate implementate in corrispondenza del manifestarsi di eventi trigger, volte a interrompere lo sviluppo della catena di rischio; ossia azioni legate da vincoli di tipo OR/AND riguardanti la condizione in cui si trova la sorgente di rischio e dipendenti dallo stato di avanzamento del progetto.

### 3.3 I processi di analisi e gestione dei rischi di progetto

I processi PRAM non rappresentano in alcun modo un sostituto dei tradizionali processi di pianificazione e controllo del progetto. Essi, di fatto, aggiungono la considerazione dei rischi e della variabilità dei parametri di progetto nello sviluppo dei processi tradizionali, affiancandosi quindi ad essi senza sostituirli. Le conoscenze relative all'incertezza del progetto incrementano il bagaglio informativo utile per la pianificazione e il controllo del progetto.

Anche i processi di PRAM, come tutti i processi di PM, sono iterativi, richiedendo una elaborazione progressiva lungo il ciclo di vita del progetto: alcuni rischi possono materializzarsi, nuovi rischi possono emergere, le caratteristiche di quelli identificati possono cambiare o addirittura svanire, anche per effetto di azioni di risposta.

I processi PRAM richiedono inoltre un approccio formale e sistematico basato su una sequenza strutturata di fasi in quanto la gestione dei rischi non può e non deve limitarsi alla predisposizione di una *contingency* utile a coprire rischi residuali, ossia rischi non identificati in fase iniziale e, quindi, non allocati contrattualmente.

All'interno del PMBoK sono identificate le seguenti fasi standard nello sviluppo del PRAM:

#### 3.3.1 Risk Management Planning

Il piano di gestione dei rischi fa parte del piano complessivo di gestione del progetto e descrive le politiche, i processi, gli strumenti, le tecniche, le metodologie e le procedure che verranno applicate nell'analisi e nella gestione dei rischi. Si tratta quindi di stabilire come applicare il *sistema di gestione dei rischi di progetto* sviluppato dall'azienda al caso specifico considerato. Il piano di gestione dei rischi descrive come i processi PRAM verranno svolti e come si interfacceranno con gli altri processi di Project Management. Attualmente l'applicazione della FMEA non rientra nel sistema di gestione dei rischi sviluppato dall'Azienda, motivo per cui si è deciso di implementare e testare tale metodologia solamente su progetti di revamping, ritenuti più idonei per una prima fase di sperimentazione, e da cui trarre indicazioni su come ottimizzare e migliorare tale procedura per l'applicazione a progetti futuri e più ampi (come ad esempio a quelli di progettazione e costruzione da prato verde, come quello in corso in Brasile per FIAT per un nuovo stabilimento di produzione).

### 3.3.2 Risk Identification

L'identificazione dei rischi costituisce un processo iterativo in quanto lungo il ciclo di vita del progetto nuovi rischi possono sempre emergere e aspetti di incertezza presenti nel progetto possono invece venir meno o risolversi. Per tale fase è necessario interrogare il maggior numero di fonti di informazione possibile; tali fonti possono essere il parere di esperti o l'analisi dei dati storici derivanti da esperienze precedenti, ma in ogni caso deve partire tutto dall'analisi del progetto considerato. L'output della fase di identificazione rischi è costituito in generale dal *Registro dei rischi (risk register)*, il quale elenca tutti i rischi rilevanti individuati con tutte le informazioni pertinenti nonché le azioni di risposta adottate. E' proprio in questa fase che è stata applicata la metodologia FMEA; collaborando con le persone coinvolte nei progetti e analizzando i dati storici si è giunti ad una identificazione dei vari major risk per i progetti analizzati. La metodologia FMEA sarà spiegata nel dettaglio nei prossimi capitoli, mentre le principali schede relative ai rischi identificati sono state riportate nell'appendice A B e C.

### 3.3.3 Risk Assessment

Questa fase, congiuntamente con la precedente, consente una migliore comprensione del singolo rischio. La valutazione di ogni singolo rischio si traduce nella compilazione del relativo *risk sheet*, che rientra nelle schede riportate nell'Appendice A B e C.

La valutazione del rischio è principalmente finalizzata a stabilire un ordine di priorità tra vari i rischi identificati, in modo tale da identificare quelli più rilevanti e che quindi richiedono una maggiore attenzione sia in termini di analisi che di azioni di risposta. Essa assume in generale una forma qualitativa (nella FMEA la scala di valutazione delle singoli componenti *S,O,D* va da 1 a 10); è possibile ottenere sia un ranking che un rating del singolo rischio tramite una conversione, attraverso opportune scale quantitative, dei parametri di probabilità e magnitudo di impatto. Un tipico strumento per definire la priorità dei rischi, simile alla FMEA ma meno dettagliato, è la matrice probabilità/impatto, con una scala, ad esempio, low-middle-high; usando tale matrice possiamo identificare i rischi più importanti.

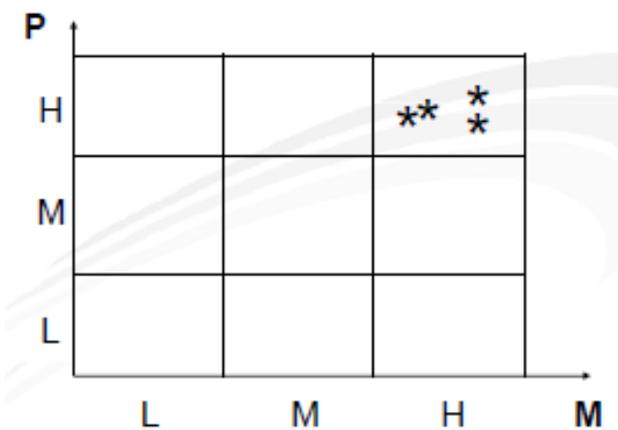


Figura 3.2

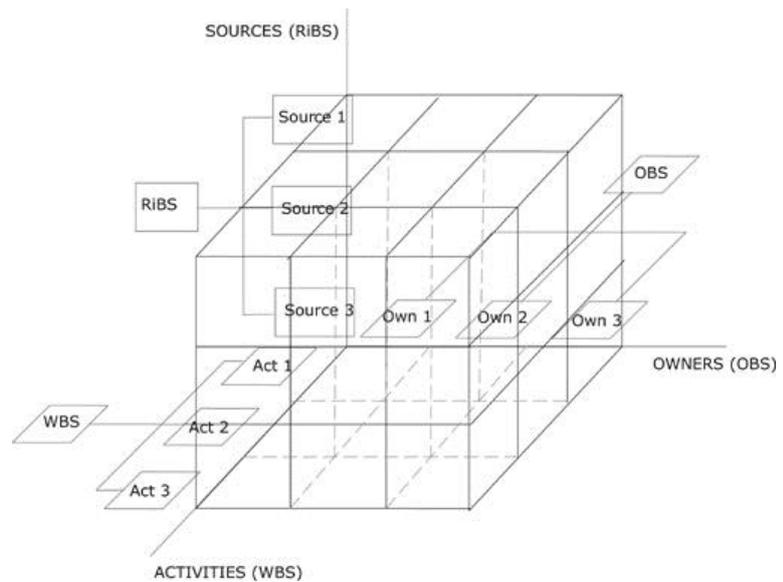


Figura 3.3

Il Risk Cube è uno strumento estremamente efficace di analisi sistemica e sintetica dei rischi di progetto, così come è strumento di sintesi delle informazioni raccolte in fase di risk identification and assessment. Il Risk Cube integra alcuni tipici strumenti di pianificazione di progetto (Work Breakdown Structure, Organization Breakdown Structure e Risk Breakdown Structure - con cui vengono identificate le diverse tipologie di sorgenti di rischio sia a livello di contesto che a livello societario). Tale Risk Cube viene ottenuto tramite come spazio tridimensionale tramite l'integrazione delle tre strutture di aggregazione del progetto. Ogni rischio è descritto all'interno del cubo da un punto le cui coordinate corrispondono alla sorgente di rischio, al Work Package interessato dagli effetti del rischio e al ruolo organizzativo che funge da risk owner. Il cubo del rischio è quindi una rappresentazione della mappa dei rischi di progetto e costituisce uno strumento efficace per la pianificazione e il controllo del progetto. Esso può inoltre essere usato per la raccolta sistematica dei dati quantitativi riguardanti i rischi di progetto, in particolare la probabilità di accadimento e la magnitudo d'impatto.

### 3.3.4 Risk Quantification

Tramite l'analisi quantitativa dei rischi si vuole raggiungere la *valutazione dell'effetto congiunto dei diversi rischi* (effetto che si traduce nella variabilità dei parametri di progetto, che nell'approccio PRAM non sono considerati deterministici) sulla performance complessiva

del progetto in termini di tempo, costo, prestazioni tecniche, ecc. Tramite l'utilizzo di opportune tecniche di simulazione è possibile svolgere analisi di tipo what if e valutare l'effetto congiunto della variabilità dei parametri di progetto sulla performance complessiva del progetto; tale procedimento introduce un maggior livello di realismo nel processo di pianificazione. Una deviazione significativa dalle prestazioni attese per il progetto può derivare sia da una singola fonte rilevante di variabilità (major risk) sia da un insieme di fonti minori ma correlate. Limite della metodologia FMEA è proprio l'impossibilità di poter valutare congiuntamente effetti multipli di più rischi sulle medesime attività, in quanto la FMEA analizza singolarmente ogni possibile rischio e relativa sorgente.

### 3.3.5 Risk Response Planning

Le azioni di risposta ai rischi si traducono in azioni pianificate o meno (preventive, o non preventive, condizionate o non condizionate) al fine di mitigare le minacce e favorire le opportunità. Tipiche strategie di risposta ai rischi negativi sono:

- Evitare il rischio: ossia eliminare la minaccia grazie ad una ridefinizione della strategia di progetto, oppure isolare gli obiettivi di progetto dall'effetto del rischio, o adattare gli obiettivi di progetto in modo che siano meno esposti al rischio;
- Trasferire la responsabilità del controllo delle conseguenze del rischio a terze parti, attraverso contratti, ad altri stakeholder o all'esterno, attraverso contratti assicurativi;
- Mitigare: ossia agire sulla probabilità di accadimento (O) o sulla magnitudo dell'impatto (S) o sul metodo di controllo (D) al fine di portare al di sotto di una soglia accettabile il grado di esposizione al rischio (tale soglia sarà definita maggiormente nel prossimo capitolo); nella FMEA tale grado è il prodotto di S,O,D e viene definito RPN (*Risk Priority Number*)

Per quanto concerne i rischi positivi, ossia le opportunità, abbiamo:

- Sfruttare l'opportunità, che può richiedere un cambio di strategia di progetto.
- Condividere l'opportunità, può richiedere lo sviluppo di una partnership con altri soggetti maggiormente in grado di trarre vantaggio dalla situazione favorevole;

- Favorire l'opportunità, che significa incrementare sia la probabilità di accadimento che i benefici che ne possono derivare.

Poiché non tutti i rischi, con relative sorgenti ed effetti, possono essere identificati in fase preliminare, è necessario accettare la presenza di una componente di incertezza, incontrollabile a priori ma su cui si può agire nel momento in cui se ne presenti la necessità; ciò corrisponde ad una accettazione del rischio, accompagnata dalla predisposizione di una opportuna contingency a copertura degli imprevisti di progetto. Tale contingency può essere vista come un cuscinetto di risorse, economiche o non, a cui far ricorso nel momento in cui si presenta un rischio imprevisto e per il quale, quindi, non vi sono azioni di risposta predeterminate e predisposte.

La raccolta, la condivisione e l'analisi di informazioni aggiuntive rappresentano un ulteriore metodo per la riduzione del livello di incertezza legato al rischio.

Ulteriore strada percorribile per ridurre l'impatto di un determinato rischio può essere il trasferimento del rischio stesso a un diverso livello (superiore) della struttura organizzativa; per esempio si potrebbe traferire il rischio a livello di gestione del portafoglio progetti, dove la diversificazione tra i diversi progetti può rendere accettabile un rischio che a livello di singolo progetto ben difficilmente potrebbe esserlo.

E' necessario che per ogni rischio sia univocamente definito il proprio risk owner, che sarà responsabile dell'implementazione delle azioni di controllo e risposta.

Al fine di massimizzare gli effetti delle azioni di risposta, esse devono essere efficienti sia in termini di costo sia in termini di tempo, ossia che il costo richiesto risulti inferiore al beneficio atteso e che la loro efficacia si manifesti prima della finestra temporale di accadimento del rischio.

Come già illustrato, possiamo classificare le azioni di risposta in azioni condizionate, la cui implementazione dipende dal verificarsi di particolari eventi trigger, o non condizionate, tali per cui la loro implementazione è pianificata a prescindere dall'accadimento di eventi trigger. L'insieme delle azioni pianificate, siano esse condizionate o non condizionate, unitamente

alle azioni da eseguire in via prioritaria sulle sorgenti di rischio, così da evitare che si trasformino in cause di rischio, insieme alle azioni condizionate volte a interrompere la dinamica del rischio, che risultano essere più efficienti delle azioni incondizionate, e alle le azioni volte a ridurre l'incertezza di progetto mediante acquisizione e condivisione di nuova conoscenza fornisce il piano di risposta ai rischi. Tali azioni sono riportate nelle schede di analisi dei rischi proprie della FMEA, e vengono utilizzate per l'analisi iterativa dei parametri che caratterizzano il singolo rischio.

### **3.3.6 Risk Monitoring and Control**

Nel momento in cui il piano di risposta ai rischi non venga eseguito correttamente, e regolarmente rivisto e aggiornato, la sua efficacia potrebbe essere scarsa. Poiché nuovi rischi possono sorgere, mentre altri possono sparire o modificarsi in seguito all'intervento di azioni di risposta, è necessario monitorare lungo tutto il ciclo di vita del progetto relativi rischi. Ciò richiede quindi una costante revisione ed aggiornamento della documentazione relativi ai rischi.

La Risk Baseline rappresenta un utile strumento per il monitoraggio e controllo dei rischi di progetto; tale curva descrive l'andamento nel tempo dell'esposizione complessiva residuale al rischio lungo il ciclo di vita del progetto. Attraverso l'analisi della curva, è possibile identificare il carico di rischio gravante sul progetto per ogni intervallo temporale fino al suo completamento e quindi prevedere possibili fasi temporali particolarmente critiche. Una prima versione della Risk Baseline viene rappresentata senza la presenza delle azioni correttive, mentre le versioni successive tengono in considerazione le azioni di risposta.

## **3.4 La gestione degli stakeholder**

Una delle sorgenti principali di rischio per il progetto, siano esse positive, quindi opportunità, che negative, è rappresentata dagli stakeholder. Per tale motivo una componente essenziale della gestione dei rischi è rappresentata dal coinvolgimento degli stakeholder nel progetto.

Con il termine “stakeholder” si intendono individui o gruppi che hanno un interesse o un ruolo funzionale nel progetto e possono contribuire al successo del progetto o esserne influenzati. Ad esempio: contractor, fornitori, clienti, azionisti, management, banche, istituzioni finanziarie, obbligazionisti, assicurazioni, ecc.

Poiché il successo del progetto dipende fundamentalmente dalla valutazione degli stakeholder, diversi stakeholder possono esprimere diverse aspettative e diverse definizioni di successo: ne emerge di fatto una definizione più completa di Project Management, che deve contemporaneamente mettere a fuoco da una parte gli obiettivi del progetto e dall'altra degli stakeholder. I principali processi gestionali riguardante gli stakeholder possono essere così riassunti:

- **Identificazione degli stakeholder**

E' possibile classificare gli stakeholder secondo diverse modalità: primari/secondari (in base al ruolo che svolgono nel progetto), legittimi/non legittimi (in base agli interessi di cui sono portatori), interni/esterni (in base alla loro posizione rispetto ai confini organizzativi del progetto). Per ogni stakeholder possono essere analizzati: interessi (espliciti/impliciti), obiettivi (dichiarati/taciti), richieste e aspettative (dichiarate/tacite), comportamenti e azioni (prevedibili/non prevedibili), risorse controllate (economiche, politiche, legislative, informative) tramite le quali possono influenzare il progetto. La non soddisfazione delle aspettative dello stakeholder può determinare un atteggiamento scarsamente collaborativo fino a comportamenti ostruzionistici verso l'avanzamento del progetto in essere o per progetti futuri, dove sarà necessaria una nuova collaborazione.

- **Valutazione/prioritizzazione degli stakeholder**

La valutazione degli stakeholder può basarsi su una serie di attributi, quali: potere, interesse, attitudine (sostegno/opposizione), coinvolgimento, prevedibilità, influenza, ecc. Su questa base è possibile mappare i diversi stakeholder identificando da una parte quelli più rilevanti nonché le diverse modalità di gestione.

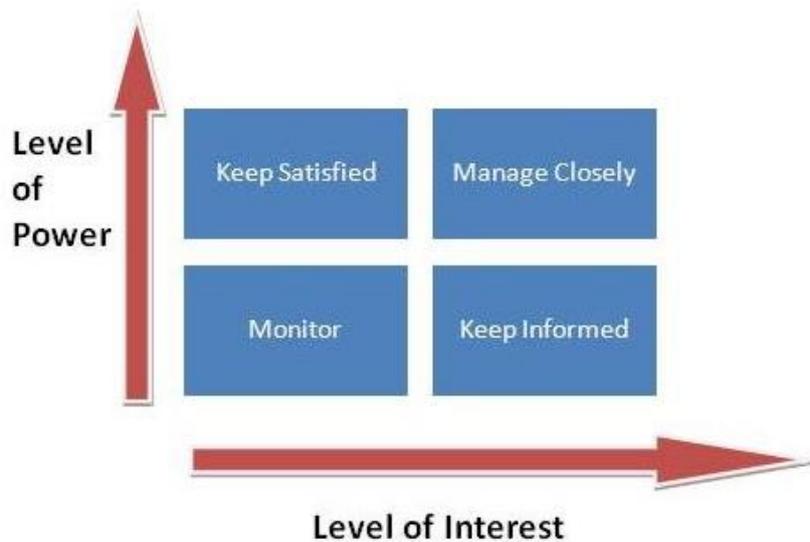


Figura 3.4

- **Gestione degli stakeholder**

Le leve disponibili di azione sugli stakeholder possono essere di diversa natura: organizzativa, contrattuale, istituzionale, politica, consensuale, economica, informativa, ecc. Le azioni sugli stakeholder possono riguardare per esempio: riallocazione dei rischi, formazione di coalizione, introduzione di incentivi, diffusione di informazioni, negoziazione, ecc.

- **Monitoraggio e controllo degli stakeholder**

Il posizionamento degli stakeholder nel grafico sopra riportato è di natura dinamica; di fatti lungo il ciclo di vita del progetto gli interessi e le posizioni relative possono cambiare. Si rendono quindi necessari un controllo e un monitoraggio continui nel tempo.

## 4 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

La Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) in questo lavoro di tesi è stata applicata al fine di migliorare la gestione dei rischi legati a due progetti di revamping di linee di verniciatura automatica presso lo stabilimento di S.A.T.A. S.p.A.; il Cliente finale di tali progetti è lo Stabilimento stesso, mentre il Main Contractor, è FIAT Group. L'esposizione dettagliata dei progetti, con relativi scopi di fornitura, identificazione dei Work Packages, Time Schedule, etc. è rimandata ai capitoli successivi.

Questa tipologia di analisi è stata eseguita preventivamente, basandosi principalmente su considerazioni teoriche e solo in minor parte sperimentali; data la speciale caratteristica dei progetti in esame, che sono simili ad altri già eseguiti dall'Azienda presso cui è stato svolto questo lavoro di tesi, si è potuta eseguire un'analisi fruendo anche di esperienze pregresse e analisi di dati storici registrati nel sistema informatico aziendale.

Poiché tale metodologia non fa ancora parte del sistema aziendale di gestione della qualità e di PM, è stato deciso di applicarla a due progetti pilota di dimensioni controllate al fine di ridurre le variabili da dover controllare, evitando quindi una dispersione di risorse e facilitando una prima applicazione sperimentale.

### 4.1 Cenni storici

La FMEA fu originariamente sviluppata dalle forze armate statunitensi nel 1949, allo scopo di classificare i guasti e problemi relativi ad un malfunzionamento dei relativi equipaggiamenti o sistemi; successivamente fu impiegata dalla NASA per un'analisi preliminare delle missioni spaziali Apollo, Viking, Voyager, Magellan, Galileo, and Skylab.

Dagli anni '70 la FMEA ha trovato largo uso anche nel campo petrolifero, venendo usata come strumento di prima analisi per lo studio e l'allocazione di piattaforme petrolifere, in quello ambientale, dove è stata usata per studi sullo spreco di risorse idriche, nella progettazione e produzione di automobili, la Ford usò tale sistema per l'analisi dei problemi a serbatoio del modello Pinto.

Ad oggi la FMEA trova applicazioni in quasi tutti i campi, da quello aeronautico a quello ambientale, da quello automobilistico a quello alimentare, passando per la progettazione e produzione di semiconduttori e software.

La FMEA è attualmente una delle componenti principali del PPAP (Production Part Approval Process) ed è inoltre applicata nell'ambito della metodologia Sei Sigma.

## 4.2 Introduzione

La FMEA, o la sua estensione FMECA (Failure Mode and Criticality Analysis), è uno strumento usato per analizzare sistematicamente, qualitativamente e iterativamente le possibili modalità di guasto e rottura di un componente o di un insieme di componenti, se applicata all'analisi di prodotti, o dei rischi legati ai processi e ai progetti, se applicata a questi ultimi. Il contributo fornito dalla FMEA alla progettazione di componenti e/o assiemi o alla gestione di progetti o verifica di sistemi, è strettamente legato alle tempistiche con cui tale analisi viene svolta e ai processi di applicazione e controllo che seguono la fase iniziale di analisi.

Risultato iniziale della FMEA è il Risk Priority Number (RPN), ossia l'indice relativo al singolo modo di guasto, analizzato ed ottenuto attraverso i parametri di *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, *Detection (D)* relativi alle cause del modo di guasto, agli effetti legati a tale modalità di malfunzionamento e ai sistemi di controllo e identificazione preventiva applicati.

L' RPN viene calcolato come prodotto degli indici dei tre parametri (SxOxD), e se superiore ad una soglia predeterminata, ossia se al modo di guasto supera un valore di gravità critico, vengono applicate le azioni di risposta atte a ridurre l'impatto del modo di guasto, o a migliorarne il controllo e identificazione, o ridurre le probabilità di accadimento; tale procedura viene iterata fino a quando il valore di RPN non scende al di sotto della soglia critica predeterminata, diventando quindi un fattore non di rischio per il componente o progetto, o di rischio limitato e controllato. Essendo la FMEA uno strumento per il miglioramento continuo, non ci si ferma ad una prima riduzione dei vari RPN, ma una volta che tutti i modi di guasto sono stati portati al di sotto della soglia minima, si abbassa la soglia stessa e si prosegue con l'analisi delle varie voci e l'implementazione di azioni correttive.

### 4.3 Terminologia della FMEA

Termine	Traduzione	Descrizione
Failure	Guasto	Perdita, malfunzionamento o rottura sotto determinate condizioni; se applicato a sistemi di gestione e progetti è la deviazione da quanto pianificato. Tale deviazione solitamente comporta un incremento di tempi e/o costi relativi all'avanzamento del progetto.
Failure mode	Modalità di guasto	Descrive la maniera specifica con cui si verifica un failure in termini di malfunzionamento o deviazione del funzionamento del singolo componente (o Work Package) considerato rispetto quanto progettato o pianificato. E' il risultato del meccanismo di guasto.
Failure cause and/or mechanism	Causa e/o meccanismo di guasto	Difetto di progettazione, realizzazione, pianificazione, controllo etc. che viene identificato come causa, o sequenza di cause, che porta ad una modalità di guasto. Una modalità di guasto può avere più cause originanti.
Failure effect	Effetto del guasto	Conseguenza derivante da un guasto, malfunzionamento, deviazione da quanto pianificato.
Severity		Parametro tramite cui viene valutata la conseguenza della modalità di guasto; viene valutato su una scala da 1 a 10 (vedere tabella alla fine di questo capitolo)
Occurance		Parametro che identifica la probabilità di accadimento; viene valutato su una scala da 1 a 10 (vedere tabella alla fine di questo capitolo)

Detection		Parametro che identifica qualitativamente la modalità di controllo e la probabilità che tale modalità rilevi il guasto e la relativa causa in maniera preventiva; viene valutato su una scala da 1 a 10 (vedere tabella alla fine di questo capitolo)
Risk Priority Number (RPN)		Indice tramite cui vengono identificate la priorità e gravità relative al <i>failure mode</i> ; $RPN = S \times O \times D$ . In base al valore assunto da RPN si applicano le azioni correttive

Nel dettaglio, possiamo definire la *Severity* come la peggior conseguenza in cui si potrebbe incorrere se il modo di guasto dovesse verificarsi. Al fine di poter esplicitare al meglio tale parametro, e quindi una sua valutazione, è conveniente che esso venga descritto attraverso tutte le conseguenze che il modo di guasto considerato potrebbe generare (Es.: Degrado delle prestazioni, impossibilità di assolvere ai compiti assegnati, pericolo per il personale, etc.). Tanto più gli effetti del modo di guasto saranno pericolosi, tanto più alto sarà il parametro relativo alla *Severity*. Poiché per ogni modo di guasto possono esserci diverse conseguenze, è necessario analizzarle tutte separatamente; analogamente, per la medesima conseguenza possono esserci più modi di guasto a monte, ed è quindi necessario analizzare separatamente anche tutte le modalità di *failure*. Tale analisi, che viene eseguita a “compartimenti stagni”, è uno dei maggiori limiti della FMEA, in quanto non permette di poter trovare collegamenti tra le varie voci analizzate; alcune proposte di soluzione a questo limite sono state ideate ed implementate sfruttando i mezzi aziendali a disposizione e verranno esposte nei prossimi capitoli.

Analogamente a quanto fatto per la *Severity*, possiamo specificare il parametro di *Occurrence* come la potenziale probabilità di accadimento del modo di guasto considerato. Questo parametro è quello che meglio si presta ad essere valutato attraverso un approccio quantitativo, poiché può essere ricavato tramite l’analisi dei dati storici relativi al componente o assieme, o attraverso analisi di carattere numerico (Es.: analisi FEM per componenti meccanici), oppure, nel caso di pianificazione di *Work Package* in ambito construction, valutando le differenze e le deviazioni tra quanto preventivato e quanto, invece, viene riportato a consuntivo. Tanto più è

probabile che si verifichino le ipotesi tali per cui il modo di guasto potrebbe presentarsi, tanto maggiore sarà il parametro relativo alla *Occurrence*.

Attraverso il parametro *Detection* si riassumono la tipologie di controllo adottate al fine di rilevare le condizioni tali per cui una modalità di guasto può verificarsi. Questo indice, contrariamente ai due introdotti precedentemente, segue una scala “inversamente proporzionale” rispetto all’efficienza dei controlli adottati; di fatti, tanto più il sistema di controllo è completo e sviluppato, tanto più facile sarà rilevare il presentarsi delle cause che portano al modo di guasto, e quindi poter intervenire preventivamente. Tanto più il sistema di controllo sarà affidabile, tanto minore sarà il parametro di *Detection*.

Il *Risk Priority Number* , che viene calcolato come prodotto dei tre indici sopra riportati ( $RPN=SxPx D$ ), identifica il livello di rischio associato al modo di guasto analizzato. L’RPN, in quanto calcolato come prodotto di tre fattori con scale da 1 a 10, può variare da un minimo di 1, situazione in cui l’effetto legato al modo di guasto è irrilevante, la probabilità di accadimento è pressoché nulla, e il sistema di controllo certamente è in grado di rilevare il verificarsi delle ipotesi che potrebbero portare ad un modo di guasto, fino ad un massimo di 1000, che identifica la condizione più critica e pericolosa per il prodotto o processo in quanto gli effetti collegati al modo di guasto possono provocare un completo arresto del sistema, non vi è alcun mezzo per identificare tale situazione e la possibilità che ciò accada è quasi certa. In letteratura sono presentati diversi metodi per stabilire una soglia critica dell’RPN; tale limite è solo iniziale poiché, essendo la FMEA uno strumento per il miglioramento continuo, una volta agito sulle modalità più critiche, e aver quindi ridotto il relativo RPN, è necessario agire sugli altri modi di guasto, anche se questi ultimi non hanno un indice di rischio inferiore a quello limite stabilito in fase iniziale.

In questo lavoro di tesi si è deciso di applicare la curva di Pareto, che identifica nel 20% dei possibili modi di guasto, l’80% delle possibili conseguenze, per una prima valutazione della soglia di criticità per l’RPN; una volta che tutti i modi di guasto con RPN superiore a quello identificato con il metodo 80/20 sono stati abbassati, in ottica di miglioramento continuo, si è proseguita l’analisi delle restanti voci in sequenza decrescente. Per il primo progetto in studio, il primo RPN critico considerato è stato,  $RPN = 100$ , a cui corrisponde un valore cumulato percentuale pari a 83,29%.

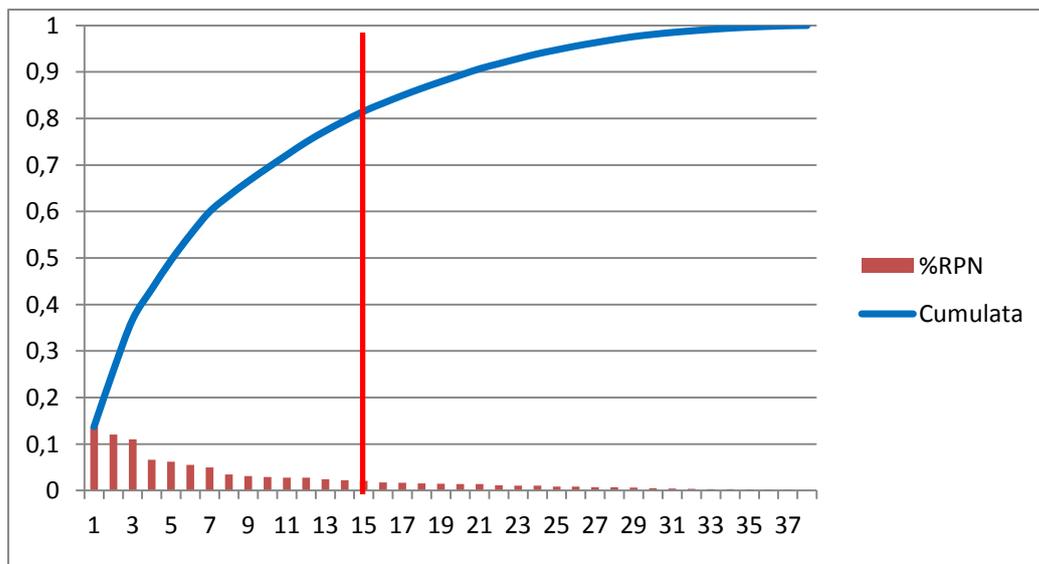


Figura 4.1 – Curva 80-20

Alternativamente si potrebbero organizzare i dati in modo decrescente, senza l'identificazione della soglia minima di RPN, e agire seguendo questo ordine; tale approccio è giustificato in quanto la FMEA è una metodologia rivolta al miglioramento continuo, il che comporta che, presto o tardi, tutti gli RPN relativi alle modalità di guasto devono essere abbassati attraverso azioni correttive.

Bisogna, però, sempre tenere presente durante un'analisi FMEA che l'RPN non ha un significato e valenza assoluti, motivo per cui anche la scelta della soglia di criticità non è ancora stata definita in maniera univoca in alcuni ambiti (ad esempio sono stati emessi diversi documenti e normative in campo automobilistico ed elettronico, ma non possono essere applicati ad altri campi in cui si pratica la FMEA); si potrebbero ottenere per diversi modi di guasto medesimi valori dell'indice di rischio partendo da diversi parametri di S,O,D. Ad esempio un modo di guasto potrebbe avere  $RPN_1 = 10 \times 1 \times 1 = 10$  e un altro  $RPN_2 = 1 \times 1 \times 10 = 10$ , ma a parità di RPN, si deve prima agire sul primo modo di guasto, in quanto se si dovesse presentare le conseguenze sarebbero le peggiori possibile, mentre il secondo, che non ha protocolli di controllo, avrebbe conseguenze minime. Questa osservazione, dibattuta anche in letteratura da diverso tempo, è la motivazione per cui i parametri S,O,D non hanno, al lato pratico, il medesimo peso ed importanza. Approcci basati su parametri pesati per il calcolo dell'RPN ( Weighted Risk Priority Number – WRPN) sono attualmente in studio.

## 4.4 Progettazione e applicazione della FMEA

La FMEA trova la sua applicazione già nelle prime fasi di sviluppo del progetto, sia esso la progettazione di un nuovo componente o assieme, sia esso la schedulazione e l'organizzazione di un progetto da parte di una società di E&C. Ovviamente, passando dalla applicazione della FMEA alla progettazione di un componente meccanico, all'applicazione in ambito di Project, e quindi Risk, Management, cambia la "lente" con cui si va a studiare ed analizzare il progetto, focalizzandosi quindi su livelli diversi del progetto stesso.

Il metodo vuole quantificare le conseguenze peggiori relative ad un modo di guasto, la frequenza di accadimento di ogni potenziale causa e la capacità del progetto e del sistema di controllo del progetto di rilevare ogni causa di fallimento. Tale valutazione avviene utilizzando tre scale ordinale ( le scale tipiche vanno da 1 a 10, dove al valore 1 viene associato lo scenario " migliore " e al valore 10 il "peggiore"). Le modalità di guasto con i punteggi più alti di RPN dovrebbero, quindi, essere affrontate con maggior priorità e tempestività attraverso la riprogettazione del prodotto o, ad esempio, la ri-schedulazione del progetto (per i singoli Work Package di Construction) o una maggiore attività di expediting. Resta inteso che ogni singola voce analizzata richiede delle azioni correttive specifiche, tutte da eseguire prima che si verifichino le condizioni tali per cui la modalità di guasto possa attuarsi. Questa applicazione della FMEA caratterizza tale metodologia come strumento preventivo, atto a identificare i possibili rischi già nelle primissime fasi del progetto.

L'applicazione della FMEA, nella parte di analisi ed identificazione delle modalità di guasto, deve essere un lavoro di team, a cui devono prendere parte tutte le figure tecniche collegate al progetto; per l'analisi dei progetti in cui è stata applicata la FMEA

Risultato del lavoro del team sono le schede FMEA relative alle modalità di guasto identificate. Le schede più significative ai fini di questo lavoro di tesi sono riportate nell'Appendice A B. e C Il modello di FMEA, inteso come struttura della scheda, usato in questo lavoro di tesi è stato preso dalla letteratura, così come le scale di valutazione dei parametri *S*, *O* e *D*.

Il team, partendo dai singoli Work Package relativi alla fase di Construction, ha analizzato tutti i possibili modi di guasto basandosi su esperienze pregresse, dati storici estratti da progetti similari; esattamente come accade nell'applicazione della FMEA rivolta all'analisi dei modi di guasto di componenti o di prodotti finiti, sono state analizzate le funzioni dei singoli Work Package, individuando le relative modalità di malfunzionamento e le conseguenze (effetti) che tali deviazioni avrebbero comportato per il completamento e il successo del progetto stesso. Le modalità di guasto, con relativa valutazione delle cause e degli effetti, assegnazione dei parametri *S, O, D* vengono mostrate e dibattute in dettaglio nei prossimi capitoli.

Nella compilazione delle schede FMEA si è deciso di procedere in senso orizzontale piuttosto che in verticale, preferendo analizzare subito le conseguenze e le cause relative alla modalità di malfunzionamento in esame e attribuendo i corrispondenti valore di *S, O, D* piuttosto che stilare un elenco di modalità di guasto, successivamente un elenco dei corrispondenti effetti e conseguentemente quello delle cause relative, e attribuire solo in ultima fase i parametri *S, O e D*. In questo modo, affrontando ogni modalità di guasto in maniera completa ed organica, è stato più semplice valutare le azioni correttive da eseguire, e loro alternative, con le rispettive modifiche dei parametri di *Severity, Occurrence e Detection*. Seguendo questa procedura si è giunti subito alla valutazione di un RPN ridotto grazie alle azioni correttive che si sono pianificate, minimizzando, quindi, il numero di modalità di guasto con un RPN superiore alla soglia identificata dalla curva di Pareto; tali modi di malfunzionamento sono stati oggetto di una seconda analisi più dettagliata. Per semplicità le schede riportate nell'Appendice A B e C sono riassuntive del lavoro svolto, e contengono i dati di partenza e i dati relativi all'analisi e valutazione finali.

## 4.5 Limiti della FMEA

La Failure Modes and Effects Analysis presenta però alcuni difetti, ampiamente descritti nella letteratura, e a cui in questo lavoro di tesi si è cercato di sopperire attraverso valutazioni di carattere numerico. I limiti di tale metodologia possono essere raggruppati, dall'analisi della letteratura eseguita, in una decina di categorie; gli articoli analizzati sono stati presi da riviste di settore e articoli accademici, non sono stati considerati articoli non scritti in lingua inglese.

La prima e più ricorrente critica che viene mossa alla metodologia FMEA consiste nel fatto che questa non sia in grado di poter considerare in maniera opportuna ed equilibrata l'importanza relativa tra i tre diversi parametri che la caratterizzano se si usa in maniera acritica l'RPN. Si può collegare tale limite della FMEA al fatto 1) diverse combinazioni di *S*, *O*, e *D* possono portare al medesimo valore di RPN, ma, come riportato nell'esempio citato nel paragrafo 4.3, un maggior valore di *Severity* comporta un rischio maggiore per il progetto o processo; 2) essendo la FMEA una metodologia che, per essere applicata correttamente, richiede un lavoro di *team* e che quindi diverse valutazioni del medesimo modo di *failure* possono essere date, tali valutazioni devono poi essere "mediate" per trovare un consenso comune, ammortizzando quindi le possibili differenze.

Seconda critica che viene portata alla FMEA è che, essendo questa un approccio qualitativo, basato su scale non quantitative (a meno del parametro di *Detection*, ove possibile), è difficile valutare in maniera corretta e coerente nel tempo il valore dei tre parametri necessari per l'analisi.

Ai due limiti sopra citati se ne aggiunge un terzo, che può essere visto in parte come conseguenza dei precedenti: la formula di calcolo per l'RPN ( $S \times O \times D$ ) è discutibile, in quanto non è in grado di mostrare i diversi livelli di rischio tra due modi di guasto con medesimo RPN, e, soprattutto, non è in grado di considerare effetti congiunti dei modi di guasto, in quanto ogni modo viene analizzato e considerato come l'unico a potersi realizzare, trattando quindi tutti gli altri come impossibili da verificarsi. L'RPN, inteso come semplice moltiplicazione dei tre indici considerati, indica se un modo di guasto comporta un rischio superiore ad un altro, ma non indica "quanto superiore", né le cause della diversa valutazione.

Ultimo limite presentato e considerato in questo lavoro di tesi consiste nel fatto che la FMEA è una metodologia di valutazione rischi principalmente in termini di sicurezza e safety, non riuscendo a dare una valutazione economica delle azioni correttive e degli effetti legati ai rischi.

Nel paragrafo successivo vengono presentate alcune applicazioni derivanti dalla FMEA "classica" al fine di ovviare ai suddetti limiti della stessa; l'approccio maggiormente utilizzato, come si vedrà, consiste in una applicazione della FMEA tramite un *Rule-based system*.

#### 4.6 Metodi derivati dalla FMEA classica

Al fine di fornire una più completa presentazione della FMEA, si vuole in questo paragrafo introdurre alcune delle maggiori e più diffuse tecniche di analisi derivate dall'applicazione classica

di tale metodologia, intesa come calcolo dell'RPN a partire dagli indici *S*, *O* e *D*. Per questo motivo è stata analizzata parte della letteratura presentata negli dieci ultimi anni nei giornali e riviste di settore e articoli accademici.

L'approccio maggiormente utilizzato, presentato in circa il 40% della documentazione consultata, risulta essere basato sull'impiego di un sistema di intelligenza artificiale; all'interno di questa tipologia di approccio possono essere identificate diverse metodologie, tra cui *Rule-based system*, ossia un sistema basato su una logica del tipo "if-then" con regole stabilite dalla conoscenze ed esperienza pregressa. Sempre nell'ambito dell'intelligenza artificiale vengono usati approcci *Fuzzy rule-based system* in cui, pur funzionando tramite regole "if-then", i parametri di ingresso del sistema di simulazione vengono scelti casualmente tra tutti i possibili valori assumibili dalle variabili stesse. Il secondo metodo più applicato è basato su un sistema di *Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)*, inteso sia come applicazione della tecnica *AHP*, che nel caso specifico genera un sistema *AHP/RPN*, sia come interrogazione di un gruppo di esperti, venendo quindi connotato come un *ME-MCDM*. Altri approcci, meno utilizzati, cercano di integrare i due presentati precedentemente, generando approcci *Fuzzy-AHP*, *Fuzzy-AHP Rule Based Approach*, o attraverso l'integrazione di altre tecniche di simulazione, quali il Metodo Monte Carlo, o teoria delle probabilità.

Per poter valutare gli effetti economici delle azioni correttive o di risposta è necessario poter accedere ai dati storici contenuti nel sistema di gestione aziendale ed eseguire delle stime sugli eventuali costi futuri, così come è necessario ricondursi alle eventuali penali legate al mancato completamento del progetto o consegna materiale concordate e ufficializzate a livello contrattuale. Per i progetti analizzati in questo lavoro di tesi non sono state previste, da parte del Cliente Finale né dal Main Contractor, delle penali di tale genere, ma, trattandosi di contratti "Lump Sum Turn Key", ossia chiavi in mano ed omnicomprensivo, quindi senza il riconoscimento di extra costi, a prescindere dalla natura della causa di tali voci di costo impreviste.

#### **4.7 Confronto FMEA – HAZOP**

La metodologia di analisi di pericolo e operabilità (o HAZOP, dall'inglese *HAZard and OPerability analysis*) nasce come strumento mirato all'individuazione dei pericoli esistenti nella

gestione di un determinato processo lavorativo. Tali pericoli possono essere identificati e indagati sulla base di deviazioni, siano esse accidentali o meno, di parametri chiave, caratteristici del processo in esame. L'analisi viene condotta attraverso una fase di definizione degli ambienti lavorativi e della comprensione dei processi lavorativi che in essi hanno luogo attraverso l'analisi e lo studio del P&ID, una accurata ed estensiva analisi dei parametri caratteristici del processo, le loro deviazioni e relative conseguenze, con lo scopo di identificare tutti i possibili pericoli o rischi collegati al processo e le attività ed azioni preventive volte alla loro gestione e prevenzione. Come per la FMEA, l'analisi HAZOP viene eseguita da un team di esperti attraverso un processo di brainstorming volto ad individuare le cause tali per cui si potrebbero verificare eventi pericolosi o deviazioni da quanto previsto in fase progettuale.

La HAZOP, come la FMEA, è una metodologia di analisi qualitativa che viene applicata allo studio di processi, generalmente di carattere chimico, per identificare le reazioni del processo produttivo nel momento in cui ai nodi presi in considerazione le condizioni di esercizio sono differenti rispetto alle previste o progettate; per eseguire tale analisi l'HAZOP sfrutta un approccio "what-if" con 'parole guida' per ogni parametro chiave considerato. Le parole guida sono:

<b>Parola guida</b>	<b>Significato</b>
NO OR NOT	Completa divergenza dal progetto
MORE	Quantità maggiore del previsto
LESS	Quantità inferiore al previsto
AS WELL AS	Deviazione qualitativa/incremento
PART OF	Deviazione qualitativa/decremento
REVERSE	Logicamente opposto al progetto
OTHER THAN	Sostituzione completa
EARLY/ LATE	Relativo al tempo fisico
BEFORE/ AFTER	Relativo alla sequenza di esecuzione

Usando le parole guida sopra riportate è possibile studiare le eventuali conseguenze delle deviazioni dei parametri significativi del processo rispetto a quanto progettato e previsto. I parametri tipicamente sono la temperatura di esercizio o dei fluidi in circolazione nell'impianto, la pressione di tali fluidi, le portate relative e le concentrazioni; è anche possibile eseguire tale analisi in termini, ad esempio, elettrici, andando quindi ad analizzare le variazioni di corrente e tensione lungo un circuito.

Da un confronto tra FMEA ed HAZOP risulta quindi semplice capire come non sia possibile applicare tale sistema di previsione dei rischi, con conseguente analisi e proposta di azioni correttive/preventive, ad un progetto di revamping di linee di verniciatura.

In questo lavoro di tesi non sono stati valutati gli aspetti economico-finanziari legati al progetto stesso, sia intesi come esposizione aziendale, flussi di cassa, etc. che come extra-costi dovuti a ritardi di produzione, di installazioni e lavorazioni. Questa tipologia di analisi rientra nella Probabilistic Risk Analysis, così come un approccio non deterministico alla schedulazione delle attività e l'impiego delle risorse. Questa tipologia di valutazione non è stata possibile sia per accordi di riservatezza sui dati da poter utilizzare, sia per una parziale mancanza di dati stessi.

#### 4.8 Scale di valutazione dei parametri S, P, D

Nella letteratura vengono proposte varie scale di valutazione dei parametri di *Severity*, *Occurrence*, e *Detection*; tutte le scale proposte sono di carattere qualitativo, dove il valore 1 indica un impatto o probabilità di accadimento minimi e 10, al contrario, rispecchiano la più alta probabilità di realizzazione e le più gravi conseguenze. Talune scale vanno da un minimo di 1 ad un massimo di 5, mentre altre si basano su una suddivisione in soli tre livelli di gravità. La scala relativa al parametro D può essere intesa come "inversamente proporzionale" al livello di controllo adottato. Di fatti più elevato ed efficiente è tale controllo e più facile sarà l'identificazione del realizzarsi delle ipotesi e condizioni che portano ad un *failure mode*, riducendone la quota di rischio legata; pertanto, ad un alto livello di monitoraggio è assegnato il valore 1, mentre ad un controllo inesistente viene assegnato il valore 10.

La valutazione relativa al parametro *Occurrence*, ove possibile, viene eseguita in funzione del rapporto di componenti che hanno mostrato il *failure mode* in analisi rispetto al numero di componenti totali prodotti. Applicando la FMEA ad un processo di valutazione e prevenzione rischi legati ai progetti, scopo di questo lavoro di tesi, non è stato possibile, a causa dell'intrinseca natura del progetto e di campioni di dati non sufficientemente ampi, valutare in maniera quantitativa tale parametro.

Le seguenti tabelle sono state prese dalla letteratura presente e disponibile; si è deciso di adottare una valutazione con scale da 1 a 10 in quanto queste sono le più diffuse ed utilizzate in letteratura, e per le quali è quindi presente una approfondita e completa analisi.

Sarebbe possibile utilizzare anche diverse scale, ad esempio da 1 a 5, o a tre livelli low-middle-high, in quanto questo sistema di classificazione è qualitativo e non quantitativo. In letteratura sono presenti anche esempi di applicazioni di questi diverse scale di valutazione, ma non vi è una altrettanto accurata e critica revisione, motivo per cui, essendo l'applicazione della FMEA ancora in fase sperimentale presso l'Azienda, si è optato per non utilizzarle.

#### 4.8.1 Tabella di classificazione del parametro *Severity*

Effect	Criteria: severity of effect	Rank
Hazardous	Failure is hazardous, and occurs without warning. It suspends operation of the system and/or involves noncompliance with government regulations	10
Serious	Failure involves hazardous outcomes and/or noncompliance with government regulations or standards	9
Extreme	Product is inoperable with loss of primary function. The system is inoperable	8
Major	Product performance is severely affected but functions. The system may not operate	7
Significant	Product performance is degraded. Comfort or convince functions may not operate	6
Moderate	Moderate effect on product performance. The product requires repair	5
Low	Small effect on product performance. The product does not require repair	4
Minor	Minor effect on product or system performance	3
Very minor	Very minor effect on product or system performance	2
None	No effect	1

#### 4.8.2 Tabella di classificazione del parametro *Occurrence*

Occurrence of failure	Rank

Extremely high: failure almost inevitable	10
Very high	9
Repeated failures	8
High	7
Moderately high	6
Moderate	5
Relatively low	4
Low	3
Remote	2
Nearly impossible	1

#### 4.8.3 Tabella di classificazione del parametro *Detection*

Detection	Criteria: likelihood of detection by design control	Rank
Absolute uncertainty	Design control does not detect a potential cause of failure or subsequent failure mode; or there is no design control	10
Very remote	Very remote chance the design control will detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	9
Remote	Remote chance the design control will detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	8
Very low	Very low chance the design control will detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	7
Low	Low chance the design control will detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	6
Moderate	Moderate chance the design control will detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	5
Moderately high	Moderately high chance the design control will detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	4
High	High chance the design control will detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	3
Very high	Very high chance the design control will detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	2
Almost certain	Design control will almost certainly detect a potential cause of failure or subsequent failure mode	1

## 5 Revamping Melfi Primer

### 5.1 Introduzione e Scopo di Fornitura a Capitolato

Il primo progetto preso in esame per l'applicazione della metodologia FMEA è stata la commessa 2720741 Melfi primer bicolore, un progetto di revamping della prima linea di verniciatura primer dello stabilimento FIAT di SATA Mlefi.

Il Capitolato Tecnico di Fornitura è stato emesso dal reparto di Tecnologie di FIAT Group, nello specifico da MEP (*Manufacturing Engineering Paint*), ossia la sezione che si occupa della fase di verniciatura di tutti i prodotti di Fiat Group in ambito automobilistico (FIAT, Lancia, Abarth, Alfa Romeo, Jeep, FIAT Professional) ed industriale (IVECO), che risulta quindi essere il Committente del progetto di revamping, mentre il Cliente finale viene identificato nello Stabilimento di S.A.T.A. Melfi. E' importante sottolineare come Stabilimento e MEP siano due enti ben distinti e separati, seppure strettamente correlati, sia da un punto di vista gerarchico-organizzativo, che da un punto di vista finanziario e commerciale. Questa distinzione, potrebbe comportare (e nella realtà del progetto ha comportato) diverse revisioni del progetto stesso (ad esempio in merito al posizionamento dei cabinet di controllo e gestione robot) ed impreviste opportunità di ampliamento dello scopo di fornitura.

Come per molti dei progetti commissionati da MEP, [REDACTED]

[REDACTED]. Vari *milestones* vengono identificati e concordati per i pagamenti relativi alle varie fasi del progetto; tipicamente viene fatturata una percentuale a [REDACTED]

Scopo di fornitura di tale commessa fu la sostituzione dell'esistente macchina reciprocatore con una nuova stazione robotizzata idonea per cicli di applicazione primer e primer+bicolore con prodotti a base solvente sugli esterni scocche. Per applicazione bicolore si intende la verniciatura del tetto scocca di un colore diverso da quello che sarà applicato sulla restante parte (superfici interne ed esterne, verticali ed orizzontali) della scocca stessa in altre stazioni di verniciatura.

La gara di appalto per tale progetto venne vinta da Verind S.p.A. nell'aprile 2013, con kick-off meeting per passaggio di commessa da Ufficio Commerciale / Proposal ad Ufficio Tecnico il 22/04/2013.

Nello specifico, fu richiesta una nuova stazione di verniciatura automatizzata tale da poter eseguire, nel tempo ciclo chiesto di verniciatura, processi di applicazione primer e bicolore con stazioni automatiche robotizzate che fanno uso di robot elettrici allestiti con apparecchiature di spruzzatura specifiche. I cicli di verniciatura sono da eseguirsi sugli esterni per tutti i tipi di scocche in transito e per tutti i colori primer e bicolore.

Il ciclo di verniciatura richiesto, viene così descritto nel Capitolato del Cliente (tale capitolato non è riportato integralmente in quanto alcune sue parti sono coperte da accordi di riservatezza tra MEP, Verind, SATA):

*La verniciatura del [REDACTED] scocche da trattare deve essere garantita, in termini di prestazioni per coperture, spessori e aspetti qualitativi, completamente in automatico nel tempo ciclo chiesto con la nuova stazione robot primer & bicolore. Non sono ammesse riprese manuali.*

Ciclo Primer (sb) :

- *applicazione primer attuale ([REDACTED]), in mano unica su parti piane e mano doppia su parti verticali, con i robot dedicati ([REDACTED]) dotati di coppe elettrostatiche a carica interna, [REDACTED]*

Ciclo Bicolore ([REDACTED]) :

- *applicazione primer specifico ([REDACTED]), in mano unica, con i robot [REDACTED] ([REDACTED]) dotati [REDACTED], spessore vernice totale [REDACTED] max.*
- *completamento primer attuale ([REDACTED]) in mano unica su parti piane e su parti verticali, con i [REDACTED] dotati di [REDACTED], spessore vernice totale [REDACTED].*
- *applicazione colore specifico ([REDACTED]), in mano unica, con i robot [REDACTED] dotati di [REDACTED], spessore vernice [REDACTED].*

Flow rate applicazioni stazione robot primer & bicolore :

- *flow rates da considerare per i prodotti primer : [REDACTED] cc/min.*
- *flow rates da considerare per i prodotti colore : [REDACTED] cc/min.*

I dati tecnici comunicati dal Cliente e contenuti nel Capitolato riguardanti il numero di scocche da processare, il tempo ciclo, le dimensioni della cabina sono:

**PARTICOLARI PRODOTTI:**

- *Tipi di scocche :*
  - 199 3P tetto chiuso e aperto*
  - 199 5P tetto chiuso e aperto*
  - 199 ABARTH tetto chiuso e aperto*
  - MOD 520 tetto chiuso e tetto aperto*
  - MOD 334 tetto chiuso e tetto aperto*
- *Zone esterne da verniciare : Le superfici esterne piane e verticali delle scocche con inserito lo sportellino carburante nel vano porta da verniciare*

All'interno del Capitolato vengono anche specificate le condizioni di accettazione impianto, l'elenco delle normative da dover rispettare durante i lavori e le normative a cui si deve attenere l'installazione, l'elenco delle certificazioni tecniche e documentazione da dover consegnare in copia originale in lingua italiana, l'elenco dei documenti di gestione e manutenzione impianto.

Vengono altresì indicati i criteri delle programmazioni *off-line* da eseguire per i robot che saranno installati nella stazione stessa, con specificate le tipologie di applicazioni relative ad ogni scocca processata, la tipologia di sistemi di sicurezza ed interblocchi da dover prevedere tra gli impianti anti-incendio, il convogliatore, il sistema di riconoscimento scocca, l'impianto di alimentazione aria e i robot. Vengono indicati i criteri di smantellamento e con e senza recupero per la stazione reciprocatore, i termini richiesti di garanzia del materiale, i corsi di addestramento del personale, i periodi di verifica di efficienza tecnica, la durata minima dell'assistenza tecnica.

Di seguito vengono riportate alcune delle condizioni generali da dover soddisfare al fine di poter procedere con l'accettazione impianto da parte del Committente e dello Stabilimento:

[REDACTED]

I *milestones* di pagamento, concordati dal reparto Commerciale di Verind sono stati definiti nel seguente modo:



## 5.2 Descrizione del Ciclo di Funzionamento

Nel Capitolato del Committente è presente la descrizione dettagliata del ciclo di funzionamento della linea primer, che di seguito è stato riassunto:

Per la linea primer [REDACTED] la movimentazione all'interno della cabina introducendo nella linea di verniciatura le scocche da trattare.

Le unità di gestione e controllo della stazione robotizzata, tramite interfacciamento con [REDACTED] [REDACTED] che ha funzioni di master di linea, devono acquisire le informazioni di codice scocca e codice colore in prossimità della stazione, tali informazioni devono essere elaborate con tabelle tecnologiche dedicate in grado di trasformarle in codice programma e codice valvola colore di applicazione. Tale acquisizione dei dati identificativi della scocca in arrivo deve avvenire in tempo utile e deve essere gestita in modo da consentire l'eventuale ciclo di cambio colore e di lavaggio prima che la scocca raggiunga la posizione di verniciatura.

Ogni stazione robotizzata di verniciatura deve gestire i sensori quali finecorsa per l'acquisizione dei dati e per lo start ciclo del programma di lavoro, ed encoder per il sincronismo con la linea a garanzia della corretta esecuzione del programma di lavoro. Gli encoder devono essere calettati direttamente sull'organo che trasmette il moto alla linea di trasporto.

Tramite gli interblocchi elettrici con il l'impianto di trasporto, il master di linea, la cabina e l'antincendio devono essere garantite le normali modalità di funzionamento impianto.

In caso di anomalia di acquisizione dati si deve attivare una segnalazione di allarme visibile per informare che alla scocca non è associato nessun programma di applicazione. I dati del programma di applicazione devono poter essere introdotti in manuale dall'operatore di

produzione. L'impostazione manuale e la conferma dei dati di programma deve ripristinare l'anomalia generatasi con l'acquisizione automatica e deve consentire all'impianto l'esecuzione del corretto ciclo di verniciatura.

In caso di anomalia dell'applicazione automatica si deve attivare una segnalazione di allarme visibile con conseguente intervento di un operatore di produzione che con semplici operatività deve poter far riprendere il ciclo automatico oppure deve poter attuare il bypass scocca.

### **5.3 Scopo di fornitura Verind**

Con la vincita della gara di appalto, Verind S.p.A. si è impegnata a fornire una stazione robot per la verniciatura automatica delle scocche sopra indicate, di tutti i lavori di rinforzo in cabina e sotto cabina necessari per l'installazione dei nuovi robot per applicazione primer e bicolore, delle installazioni meccaniche ed elettriche atte al corretto funzionamento della stazione, delle apparecchiature necessarie per la regolamentazione e controllo del ciclo di verniciatura, dei sistemi di sicurezza e loro interfacce con i sistemi propri di Stabilimento, dell'avvio e ottimizzazione dei cicli e parametri di verniciatura, di tutta la documentazione relativa alla gestione e alla manutenzione dell'impianto, sia con schede WCM che con manuali dedicati, la certificazione dell'impianto secondo le norme vigenti e gli standard richiesti dal Cliente.

Nel dettaglio, è stato concordato di fornire una stazione di verniciatura suddivisa in due sotto-stazioni, rispettivamente da 8 robot e 2 robot l'una; la prima delle due sottostazioni è dedicata all'applicazione del primer normale e alla preparazione per l'applicazione bicolore, mentre la seconda dovrà eseguire la sola applicazione specifica per la verniciatura del tetto scocca in caso di bicolore. Nel lay-out presente nella prossima pagina viene mostrata la suddivisione delle due sottostazioni, il posizionamento dei robot e di alcuni dei cabinet necessari al loro funzionamento e controllo.

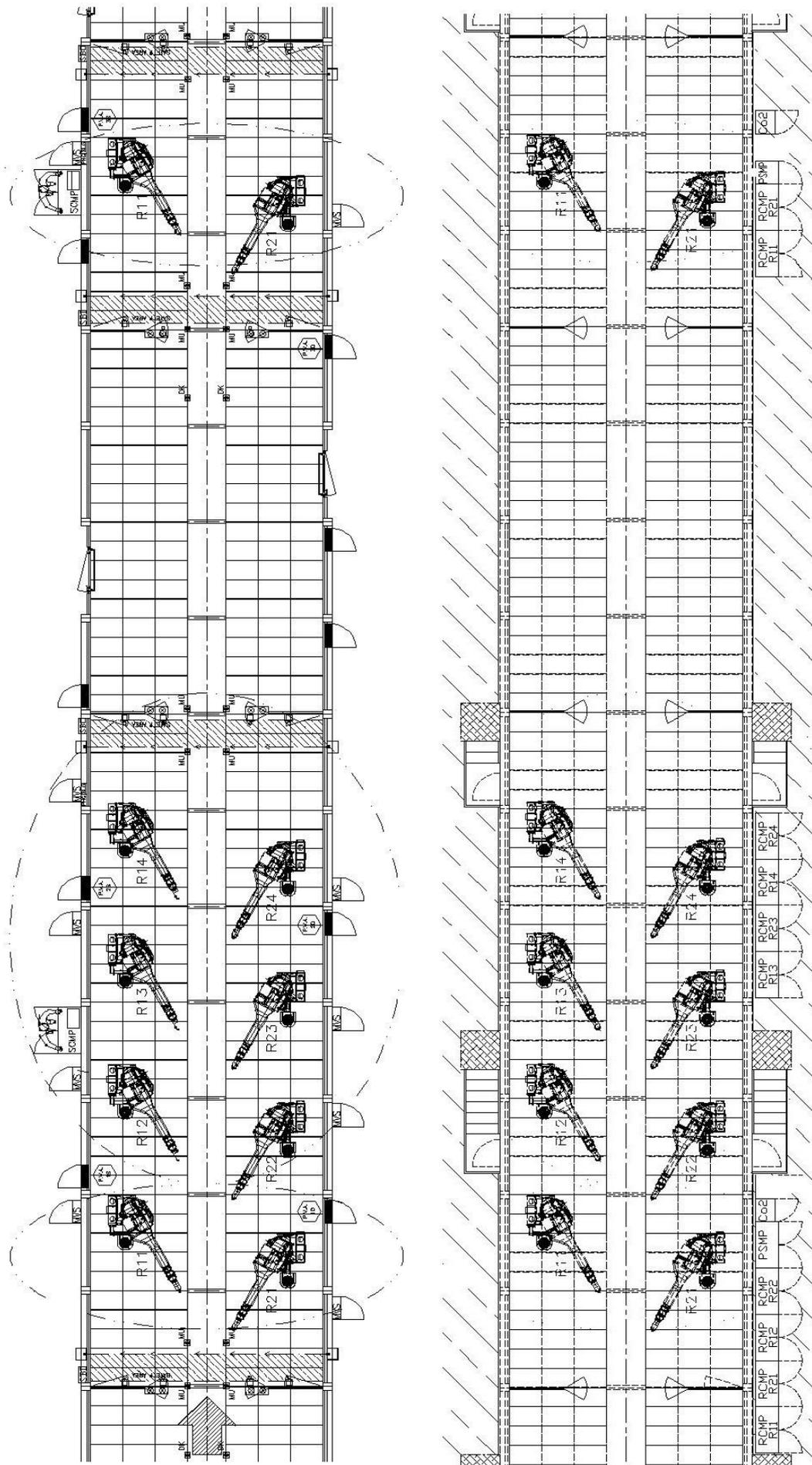


Figura 5.1  
 A sinistra lay-out piano +0,0m; a destra lay-out piano +5300,0m

## 5.4 Suddivisione dello scopo di fornitura Verind tra i Sub-Fornitori

Per la realizzazione di tale progetto, Verind S.p.A. si è avvalsa della collaborazione di quattro fornitori principali: [REDACTED] per la fornitura dei robot e relativi sistemi di controllo, [REDACTED] per i lavori di rinforzo in cabina e sotto-cabina e smantellamento, [REDACTED] per l'installazione meccanica ed elettrica dei robot, [REDACTED] per la verifica della parte software e relativa verifica. Le ottimizzazioni previste a contratto sono state eseguite da teacher esperti di Verind S.p.A., i documenti contrattuali sono stati redatti dal personale dell'Ufficio Tecnico; Verind S.p.A. è stata responsabile anche del Site Management, del Project Management sia verso il Cliente che internamente al gruppo Dürr.

Vista l'innovativa applicazione e le conseguenti necessarie modifiche ai circolatori vernice, solventi e aria è stato emesso dal Cliente un ulteriore ordine, alla società [REDACTED], per i lavori di adeguamento di tali linee.

Parallelamente a questi ordini, di carattere più complesso e che hanno richiesto una maggior supervisione e controllo, ne sono stati emessi altri sia dal Cliente che da Verind per quanto concerne:

[REDACTED]

Parallelamente al lavoro svolto da Verind S.p.A. sulla linea primer, presso lo Stabilimento venivano realizzati altri lavori di revamping e/o ampliamento, non solo sulle linee di verniciatura ma anche su quelle di sigillatura, lastratura ed assemblaggio. Durante i mesi di luglio, agosto, settembre ed ottobre sono state incaricate oltre duecento aziende, tra fornitori di primo livello e

sub-fornitori, per la realizzazione e completamento dei progetti di potenziamento e miglioramento dello Stabilimento; in tale contesto, al fine di poter meglio gestire i permessi di ingresso, controllare la correttezza delle certificazioni e documentazione dei fornitori e sub-fornitori, Stabilimento ha sub-appaltato parte del controllo di tale documentazione [REDACTED]. Lo [REDACTED], quindi, aveva la responsabilità per tutto ciò che concerne la sicurezza durante i periodi di installazione, messa a punto e programmazione per tutto il Plant SATA Melfi; è stato necessario adeguare la documentazione richiesta per l'acquisizione dei permessi di accesso e lavoro all'interno dello Stabilimento secondo le richieste dello Studio Assaloni, che, come sarà mostrato nei prossimi capitoli, è stato fonte di ritardi imprevisti per l'inizio dei lavori, con conseguenti extra-costi e ritardi rispetto il time schedule concordato e pianificato.

## 5.5 Time Schedule

I Milestones principali per la pianificazione e controllo dell'avanzamento del progetto sono stati definiti in fase di offerta, compatibilmente con le richieste del Cliente e la disponibilità dei robot, dall'ufficio commerciale di Verind S.p.A. con la sezione di Tecnologie di FIAT. Alcuni di tali milestones si sono poi tradotti, a contratto, nei criteri alla base del permesso di fatturazione, da parte di Verind S.p.A., e quindi di pagamento da parte da parte di FIAT o Stabilimento. Di seguito vengono riportati i time schedules del progetto, con la relativa evoluzione in termini attività pianificate e coinvolgimento fornitori.

La pianificazione delle attività è stata eseguita considerando, in prima istanza, una quantità di risorse infinita sia per quanto concerne le attività di engineering dell'ufficio tecnico Verind, sia per quanto riguarda le attività di smontaggio-montaggio in cantiere delle strutture cabina, dei robot e delle apparecchiature relative. Tale approssimazione è stata resa possibile dal fatto che, da un lato, il tempo disponibile per la produzione degli elaborati tecnici da parte dell'ufficio tecnico Verind era più che sufficiente per la generazione di quanto richiesto, non mostrando quindi criticità (deduzione confermata successivamente all'analisi FMEA svolta per tale progetto), e, dall'altro, che le attività di smontaggio-montaggio sono state eseguite interamente da sub-fornitori, che si sono contrattualmente fatti carico dei rischi connessi a tali work package. Ovviamente, una volta conosciuto il numero delle persone incaricate dai sub-fornitori per l'esecuzione dei lavori relativi, è stata eseguita una attività di verifica e controllo sulla potenzialità

e capacità produttiva, permettendo quindi una schedulazione più dettagliata, in grado di poter anche monitorare l'effettivo avanzamento del progetto e il rispetto di quanto pianificato. Gli unici work package allocati usando sin dalle prime revisioni un criterio di capacità finita sono stati quelli relativi alle ottimizzazioni e ai turni di assistenza ed efficienza tecnica, legati al numero di teacher Verind disponibili in tale periodo.

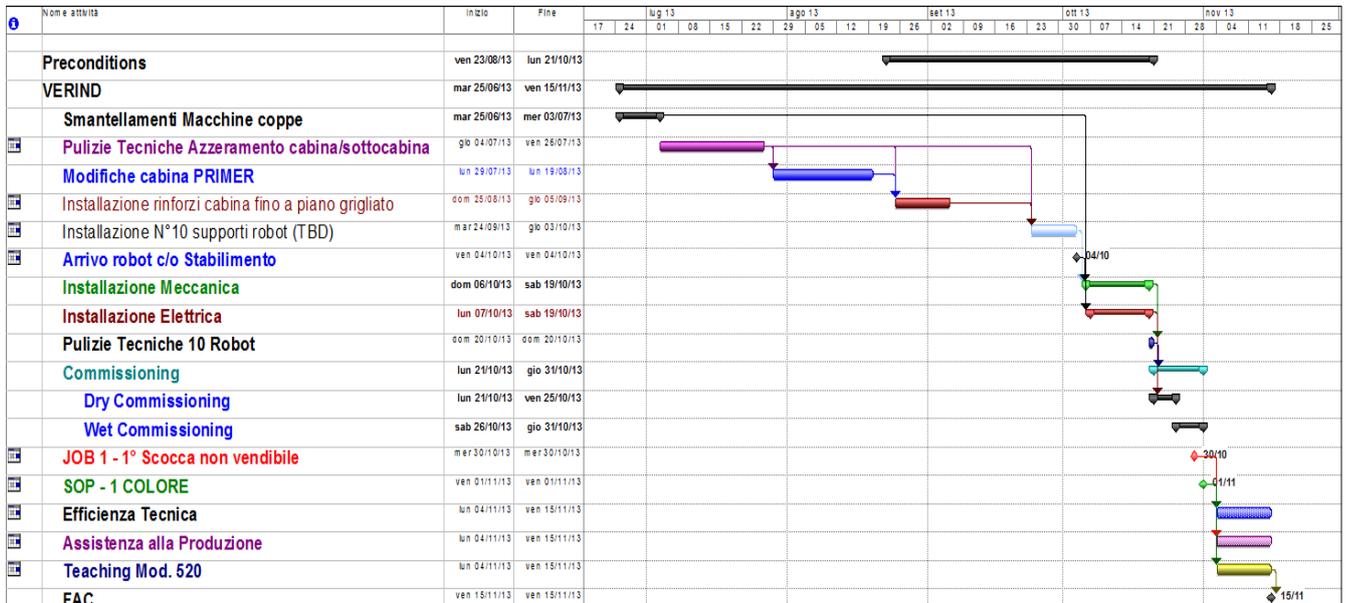


Figura 5.2 – Gantt Generale

Nel dettaglio, i work package sopra riportati possono essere suddivisi come di seguito mostrato, introducendo un maggior dettaglio nella pianificazione del progetto e facilitandone, quindi, il controllo in fase di avanzamento.



Figura 5.3 – Gantt attività di installazione

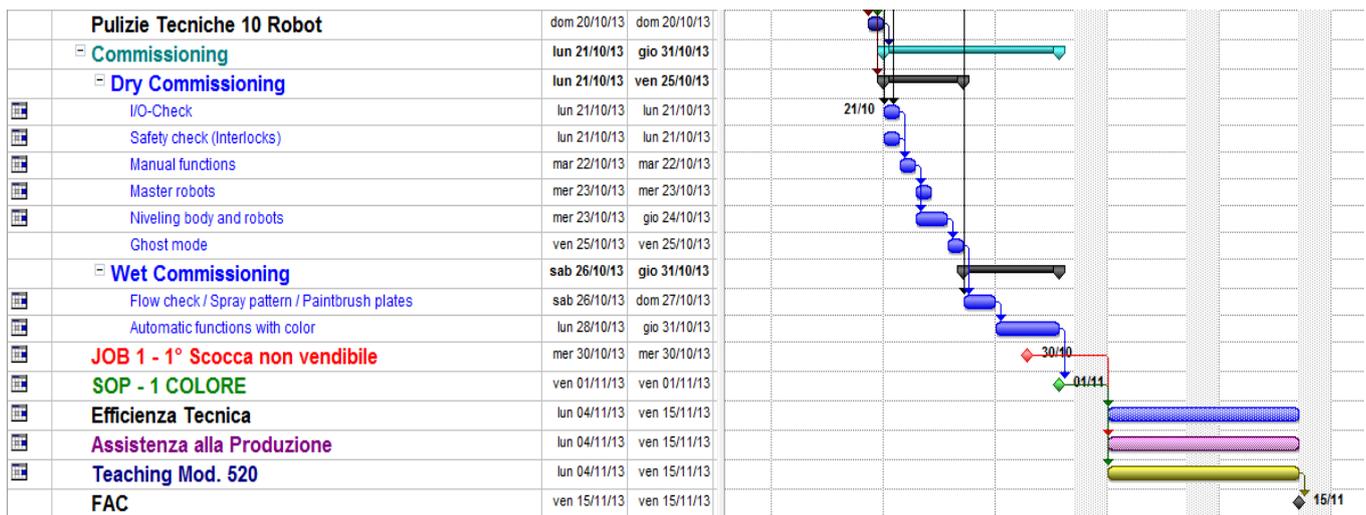


Figura 5.4 Gantt attività di Commissioning

I work package riportati sul diagramma di Gantt usato per la schedulazione durante la fase iniziale, sono stati i medesimi analizzati durante la fase di applicazione della FMEA; in questa fase le interferenze tra le attività in carico a Verind S.p.A., e relativi fornitori, con le attività previste dalle altre società presenti presso Stabilimento e con in carico i revamping dei forni, del sistema di trasporto, dei circolatori non sono state considerate, in quanto sono state comunicate in un secondo momento.

Di seguito vengono riportati i Gantt relativi alle principali attività in carico alle altre società, così come sono stati inviati a Verind; gli avanzamenti venivano comunicati direttamente al site manager Verind da parte del corrispettivo site manager delle altre aziende.



Figura 5.5 – Gantt attività NON Verind - 1

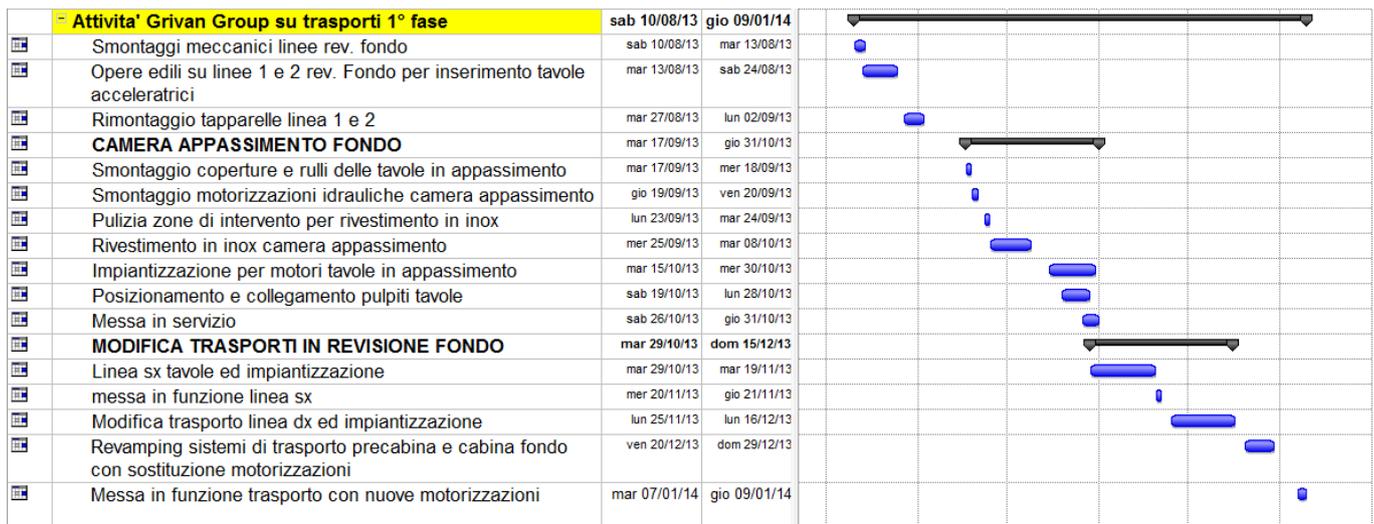


Figura 5.6 - Gantt attività NON Verind - 2

L'analisi dei singoli work package con la relativa applicazione della FMEA, viene rimandata ai prossimi capitoli e alle schede FMEA presenti nell'Appendice A B e C; tali schede sono il risultato, finale ed in sintesi, delle analisi eseguite sulle attività principali.

## 6 Revamping Melfi Interni Base Coat e Depolveratura

### 6.1 Introduzione e Scopo di Fornitura a Capitolato

Il secondo progetto preso in esame per l'applicazione della metodologia FMEA è stata la commessa 2720894 B1 - SATA Interni-Depo BC Linea 1-2, un progetto di revamping delle linee 1 e 2 di verniciatura interni base coat dello stabilimento FIAT di SATA Melfi.

Come per il progetto di revamping della linea primer, il Capitolato Tecnico di Fornitura è stato emesso dal reparto di Tecnologie di FIAT Group, che viene quindi considerato come Committente del progetto di revamping, mentre il Cliente finale, anche in questo caso, è lo Stabilimento di S.A.T.A. Melfi.

Anche in questo caso, [REDACTED]

[REDACTED]. I *milestones* di pagamento per il progetto in esame, trattandosi del revamping di due linee, sono stati concordati in modo diversa da quanto fatto per il progetto della linea primer bicolore; [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED].

Scopo di fornitura di tale commessa è la sostituzione degli attuali robot per la verniciatura degli interni con macchine idee per il medesimo ciclo di applicazione con prodotti a base acqua e l'installazione di opportune macchine atte alla pulizia (depolveratura) delle scocche in ingresso alle linee. Con depolveratura, per questo progetto, si intende il passaggio della scocca attraverso due stazioni dedicate alla pulizia della stessa; la prima stazione è composta da un blower che, seguendo il profilo scossa, rimuove una prima quantità di impurità e polvere, e da una seconda, composta da rulli con penne di Emu che, grazie alla struttura delle penne e seguendo il profilo della macchina processata, rimuove la restante quantità di impurità.

La gara di appalto per tale progetto venne vinta da Verind S.p.A. nel Dicembre 2013, con kick-off meeting per passaggio di commessa da Ufficio Commerciale / Proposal ad Ufficio Tecnico il 06/12/2013.

Nello specifico, fu richiesta una nuova stazione di verniciatura automatizzata tale da poter eseguire, nel tempo ciclo chiesto di verniciatura, processi di applicazione per [REDACTED], con stazioni automatiche robotizzate che fanno uso di robot elettrici allestiti con apparecchiature di spruzzatura specifiche. I cicli di verniciatura sono da eseguirsi sugli interni per tutti i tipi di scocche in transito e per tutti i colori riportati in appendice, con le relative suddivisioni.

Il ciclo di verniciatura richiesto, viene così descritto nel Capitolato del Cliente (tale capitolato non è riportato integralmente in quanto alcune sue parti sono coperte da accordi di riservatezza tra MEP, Verind, SATA):

*La verniciatura del [REDACTED] interne scocche da trattare deve essere garantita, in termini di prestazioni per coperture, spessori e aspetti qualitativi, completamente in automatico nel tempo ciclo chiesto con le nuove stazioni robot degli interni smalto. Non sono ammesse riprese manuali.*

*Solo durante la fase di rump-up verranno eseguite dal plant le riprese manuali da eseguirsi in cabina smalto dopo l'applicazione automatica con le nuove stazioni robot degli interni.*

*Prestazioni Ciclo Pastello [REDACTED]:*

[REDACTED]

*Prestazioni Ciclo Metallizzato [REDACTED]*

[REDACTED]

- [REDACTED]

*Flow rate applicazioni stazione robot [REDACTED]*

[REDACTED]

- [REDACTED]

I dati tecnici comunicati dal Cliente e contenuti nel Capitolato riguardanti il numero di scocche da processare, il tempo ciclo, le dimensioni della cabina sono:

**PARTICOLARI PRODOTTI:**

- *Tipi di scocche :*
  - 199 3P tetto chiuso e aperto*
  - 199 5P tetto chiuso e aperto*
  - 199 ABARTH tetto chiuso e aperto*
  - MOD 520 tetto chiuso e tetto aperto*
  - MOD 334 tetto chiuso e tetto aperto*
- *Zone interne da verniciare : Le superfici interne come da figurini (che non sono riportati in questo lavoro di tesi) lo sportellino carburante (lato interno ed esterno) posizionato su puntone anteriore*

Come per il progetto di revamping della linea primer, nel Capitolato vengono anche specificate le condizioni di accettazione impianto, l'elenco delle normative da dover rispettare durante i lavori e le normative a cui si deve attenere l'installazione, l'elenco delle certificazioni tecniche e documentazione da dover consegnare in copia originale in lingua italiana, l'elenco dei documenti di gestione e manutenzione impianto.

Vengono altresì indicati i criteri delle programmazioni *off-line* da eseguire per i robot che saranno installati nella stazione stessa, con specificate le tipologie di applicazioni relative ad ogni scocca processata, la tipologia di sistemi di sicurezza ed interblocchi da dover prevedere tra gli impianti anti-incendio, il convogliatore, il sistema di riconoscimento scocca, l'impianto di alimentazione aria e i robot. Vengono indicati i criteri di smantellamento con e senza recupero per i precedenti robot installati, i termini richiesti di garanzia del materiale, i corsi di addestramento del personale, i periodi di verifica di efficienza tecnica, la durata minima dell'assistenza tecnica.

Di seguito, come per il progetto primer, vengono riportate alcune delle condizioni generali da dover soddisfare al fine di poter procedere con l'accettazione impianto da parte del Committente e dello Stabilimento:



[REDACTED]

I *milestones* di pagamento, concordati dal reparto Commerciale di Verind sono stati definiti nel seguente modo:

[REDACTED]

Trattandosi di un progetto [REDACTED] sono profondamente diverse rispetto a quelle concordate per la linea Primer.

## 6.2 Descrizione del Ciclo di Funzionamento

Come per quanto presentato nel Capitolo del progetto di revamping della linea primer, è presente la descrizione dettagliata del ciclo di funzionamento della linea di verniciatura smalti base; trattandosi di una ripetizione di quanto già presentato nel capitolo precedente, a meno delle ovvie modifiche dei termini, di seguito tale descrizione non viene riportata.

Una delle due differenze con la linea primer è il sistema di trasporto; nella linea di verniciatura interni, essendo richiesta una maggior precisione al fine di garantire il rispetto delle più stringenti richieste del Cliente in materia di qualità e aspetti visivi, la verniciatura della scocca avviene in una stazione il cui convogliatore ha un funzionamento in stop&go, diverso quindi dal sistema tracking della linea primer.

La seconda differenza, resa necessaria per le medesime motivazioni della precedente ma anche per una questione di cinematica e minori spazi di manovra legati alla configurazione scelta, è [REDACTED]; in caso di [REDACTED].

Il controllo del posizionamento della scocca viene eseguito tramite un sistema [REDACTED] riferimento (nello specifico dei fori) presenti sulla scocca stessa.

In aggiunta allo scopo di fornitura vi sono anche sue stazioni automatiche per la pulizia (depolveratura) delle scocche in ingresso alla linea. Come mostrato dal lay-out di seguito riportato tali stazioni si compongono di una macchina di soffiatura (blower) e una di pulizia tramite (macchina con penne di Emu).

### **6.3 Scopo di fornitura Verind**

Con la vincita della gara di appalto, Verind S.p.A. si è impegnata a fornire due stazioni robot per la verniciatura automatica delle scocche sopra indicate, delle installazioni meccaniche ed elettriche atte al corretto funzionamento della stazione, delle apparecchiature necessarie per la regolamentazione e controllo del ciclo di verniciatura, dei sistemi di sicurezza e loro interfacce con i sistemi propri di Stabilimento, dell'avvio e ottimizzazione dei cicli e parametri di verniciatura e pulitura, di tutta la documentazione relativa alla gestione e alla manutenzione dell'impianto, sia con schede WCM che con manuali dedicati, la certificazione dell'impianto secondo le norme vigenti e gli standard richiesti dal Cliente.

Tutti i lavori di rinforzo in cabina e sotto cabina necessari per l'installazione dei nuovi robot sono stati appaltati direttamente da FIAT ad un'altra società, ma la gestione di questo altro fornitore è in carico a Verind, in quanto è necessaria una perfetta sincronia delle attività dato il poco tempo a disposizione per poter eseguire tutti i lavori necessari.

Nel dettaglio, è stato concordato di fornire due stazioni di verniciatura in ciascuna delle quali verranno installati 4 robot di verniciatura e 6 robot manipolatori (4 apri porta, 1 apri cofano, 1 apri baule); a completamento delle stazioni di verniciatura vengono fornite le stazioni di depolveratura, suddivise come sopra indicato. Nel lay-out presente nella prossima pagina vengono mostrate le due linee con il rispettivo posizionamento dei robot e delle macchine di pulizia.

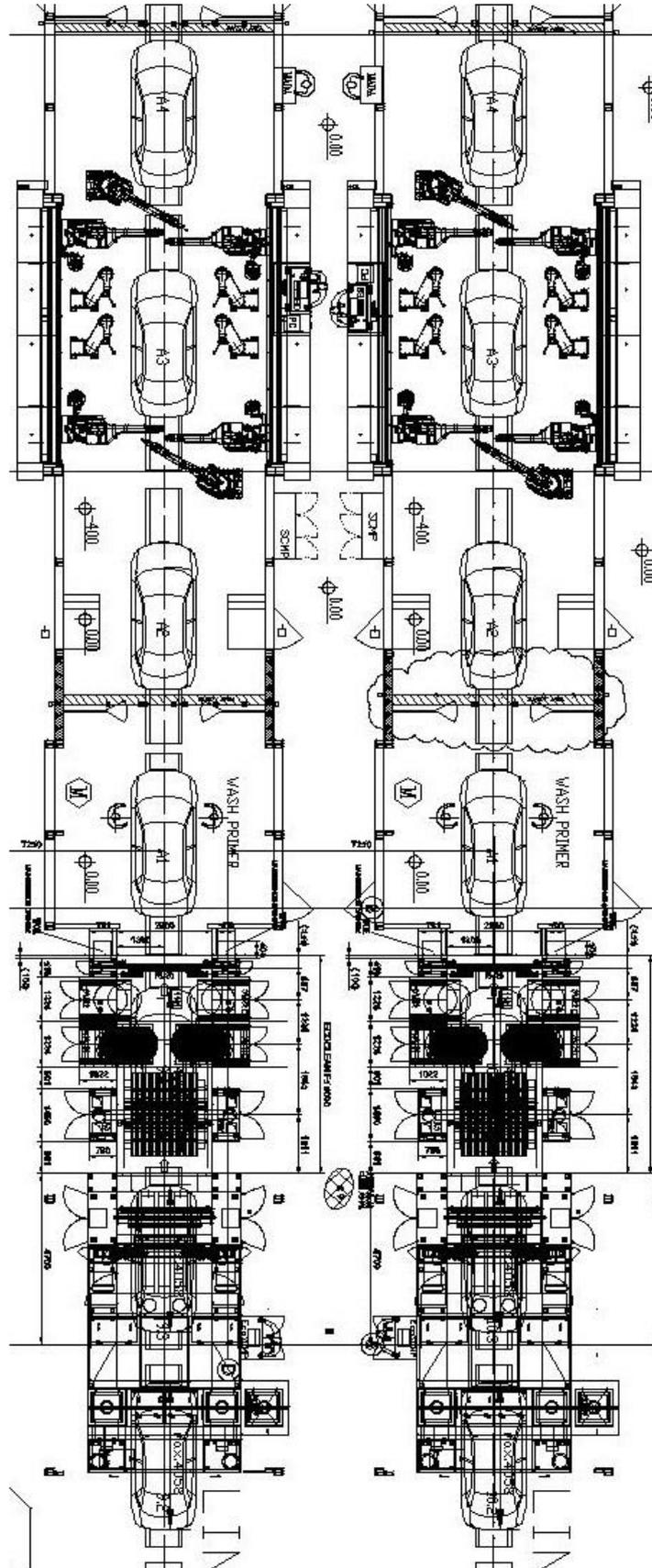


Figura 6.1  
A sinistra la linea 1; a destra la linea 2

## 6.4 Suddivisione dello scopo di fornitura Verind tra i Sub-Fornitori

Per la realizzazione di tale progetto, Verind S.p.A. si è avvalsa come per la realizzazione della linea primer della collaborazione di quattro fornitori principali: [REDACTED] per la fornitura dei robot e relativi sistemi di controllo, [REDACTED] [REDACTED] per i lavori di smantellamento meccanico, [REDACTED] [REDACTED] per l'installazione meccanica ed elettrica dei robot, TG Automazione per la verifica della parte software e relativa verifica. Le ottimizzazioni previste a contratto sono state eseguite da teacher esperti di Verind S.p.A., i documenti contrattuali sono stati redatti dal personale dell'Ufficio Tecnico; Verind S.p.A. è stata responsabile anche del Site Management, del Project Management sia verso il Cliente che internamente al gruppo Dürr. Per quanto concerne invece le opere di rinforzo delle strutture di cabina, pannellature, rifacimento grigliati è stato emesso un ordine direttamente da FIAT ad un altro fornitore; la gestione però di questi lavori, il coordinamento e gli allineamenti sono stati affidati al PM di Verind.

Parallelamente a questi ordini, di carattere più complesso e che hanno richiesto una maggior supervisione e controllo, ne sono stati emessi altri sia dal Cliente che da Verind per quanto concerne:

- la pulizia delle cabine e del sotto-cabina, strettamente necessarie in quanto la rimozione dei solventi e delle vernici (entrambi infiammabili) è condizione necessaria per l'ottenimento dei permessi di taglio e saldatura;
- l'allacciamento, con cassette di derivazione e dimensionamento dei cavi, al blindo sbarra di Stabilimento per poter fornire la necessaria potenza alle stazioni robot;
- l'installazione, con relativa certificazione, del sistema di CO<sub>2</sub> necessario per la prevenzione degli incendi;

Anche per questo progetto, i permessi di ingresso e le notifiche di presenza per le aziende in appalto dovevano essere preventivamente approvati, oltre che dalla sicurezza interna, anche dallo [REDACTED]; conoscendo meglio le procedure e l'elenco di documenti necessari da esibire, ed essendo tutte le aziende già state notificate per progetti precedenti, le tempistiche per il rinnovo di tali permessi sono state ridotte.

## 6.5 Time Schedule

I Milestones principali per la pianificazione e controllo dell'avanzamento del progetto sono stati definiti in fase di offerta, compatibilmente con le richieste del Cliente e la disponibilità dei robot, dall'ufficio commerciale di Verind S.p.A. con la sezione di Tecnologie di FIAT. In fase di offerta e relativi allineamenti sono anche stati definiti gli intervalli temporali concessi a Verind per l'installazione (intesa come smantellamenti e montaggi) delle due nuove linee di pulizia e verniciatura. E' stato concordato che i lavori sulle due linee debbano essere consecutivi, di modo da non bloccare la produzione dello Stabilimento; la finestra temporale concessa è di 4 mesi complessivi per il blocco della produzione, da Maggio 2014 a fine Agosto 2014. Essendo tale intervallo di tempo molto stretto e le attività da eseguire molto numerose si è reso necessario modificare la schedulazione di fermata delle linee di produzione; poiché la linea 2 di verniciatura esterni, sempre realizzata da Verind nel 2013, non è ancora stata resa operativa, si è deciso di far partire i lavori di revamping da quelle stazioni, lasciando quindi la linea 1 attiva. Questa decisione permette di operare con un intervallo di tempo più ampio sulla linea 2, così da poter anche testare, ed eventualmente rivedere, le decisioni prese in fase di schedulazione e allocazione risorse, di modo da essere preparati per le brevi tempistiche sulla linea 1.

Come per il progetto primer, la pianificazione delle attività è stata eseguita considerando, in prima istanza, una quantità di risorse infinita sia per quanto concerne le attività di engineering dell'ufficio tecnico Verind, sia per quanto riguarda le attività di smontaggio-montaggio in cantiere delle strutture cabina, dei robot e delle apparecchiature relative. Tale approssimazione è stata resa possibile dal fatto che, da un lato, il tempo disponibile per la produzione degli elaborati tecnici da parte dell'ufficio tecnico Verind è sufficiente per la produzione di quanto richiesto, non mostrando quindi criticità (deduzione successiva all'analisi FMEA svolta per tale progetto), e, dall'altro, che le attività di smontaggio-montaggio sono state eseguite interamente da sub-fornitori, che, anche in questo caso, si sono contrattualmente fatti carico dei rischi connessi a tali work package. Ovviamente, una volta conosciuto il numero delle persone incaricate dai sub-fornitori per l'esecuzione dei lavori relativi, è stata eseguita una attività di verifica e controllo sulla potenzialità e capacità produttiva, permettendo quindi una schedulazione più dettagliata, in grado di poter anche monitorare l'effettivo avanzamento del progetto e il rispetto di quanto pianificato, con particolare attenzione a quanto sarà necessario modificare (in termini di schedulazione e allocazione risorse) in previsione dei lavori sulla linea 1. Gli unici work package allocati usando sin

dalle prime revisioni un criterio di capacità finita sono stati quelli relativi alle ottimizzazioni e ai turni di assistenza ed efficienza tecnica, legati al numero di teacher Verind.

La fermata della linea 1 sarà possibile solamente nel momento in cui la linea 2 sarà operativa secondo gli standard del Cliente; questo vincolo comporta l'impossibilità di eseguire i lavori preparativi per l'installazione dei nuovi robot e impianti di depolveratura in anticipo rispetto a quanto pianificato in fase di offerta e primi allineamenti tecnici, rendendo quindi le attività sulla prima linea tutte critiche e appartenenti al cammino critico del progetto.

Contrariamente a quanto successo per il progetto primer, si rende necessario lavorare per tutta la durata delle attività di installazione su 2 o 3 turni al giorno, al fine di rispettare gli stringenti vincoli temporali imposti.

Nonostante la schedulazione delle attività sia stata più volte aggiornata e rivista, la conclusione del progetto nel pieno rispetto delle finestre temporali concesse è da subito apparsa pressoché impossibile; a seguito di numerosi allineamenti e incontri con il Cliente, si è giunti ad una soluzione di compromesso che prevede la conclusione del progetto, per la parte robot di verniciatura, entro metà del mese di Settembre.

Di seguito, viene riportato il diagramma di Gantt con una rappresentazione sintetica della durata delle attività; a tre mesi dall'avvio della commessa, è stata vinta un'ulteriore gara per il revamping della linea Clear Coat 1, che è stata quindi inserita nella schedulazione generale del progetto di revamping delle Linee Smalto Base interni.

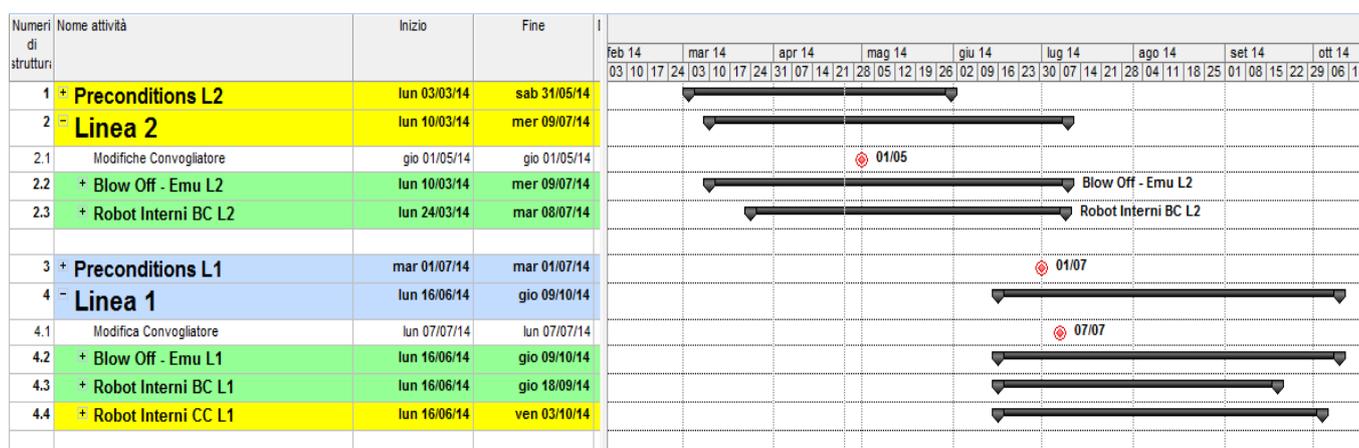


Figura 6.2 – Gantt Generale

Nel dettaglio, le attività e i work package sopra riportati possono essere suddivisi come di seguito mostrato, introducendo un maggior grado di accuratezza nella pianificazione del progetto e facilitandone, quindi, il controllo in fase di avanzamento.

I work package riportati sul diagramma di Gantt usato per la schedulazione durante la fase iniziale, sono stati i medesimi analizzati durante l'applicazione della FMEA; in questa fase le interferenze tra le attività in carico a Verind S.p.A., e relativi fornitori, con le attività previste dalle altre società presenti presso Stabilimento, come ad esempio le attività di modifica del sistema di trasporto, dei circolatori non sono state considerate, in quanto sono state comunicate in un secondo momento; una volta ottenute informazioni da parte di MEP riguardo a teli work package è stata ovviamente eseguita una nuova FMEA (o una aggiornamento nel caso in cui le attività fossero già state trattate) per tener conto anche di tali interferenze.

Di seguito vengono riportati i Gantt relativi alle principali attività in carico sia a Verind che alle altre società, così come sono stati inviati; gli avanzamenti verranno comunicati direttamente al site manager Verind da parte del corrispettivo site manager delle altre aziende.

L'analisi dei singoli work package con la relativa applicazione della FMEA, viene rimandata ai prossimi capitoli e alle schede FMEA presenti nell'Appendice A B e C; tali schede sono il risultato, finale ed in sintesi, delle analisi eseguite su tutti i work package; verranno riportate solamente le più significative ed importati ai fini del progetto considerato.



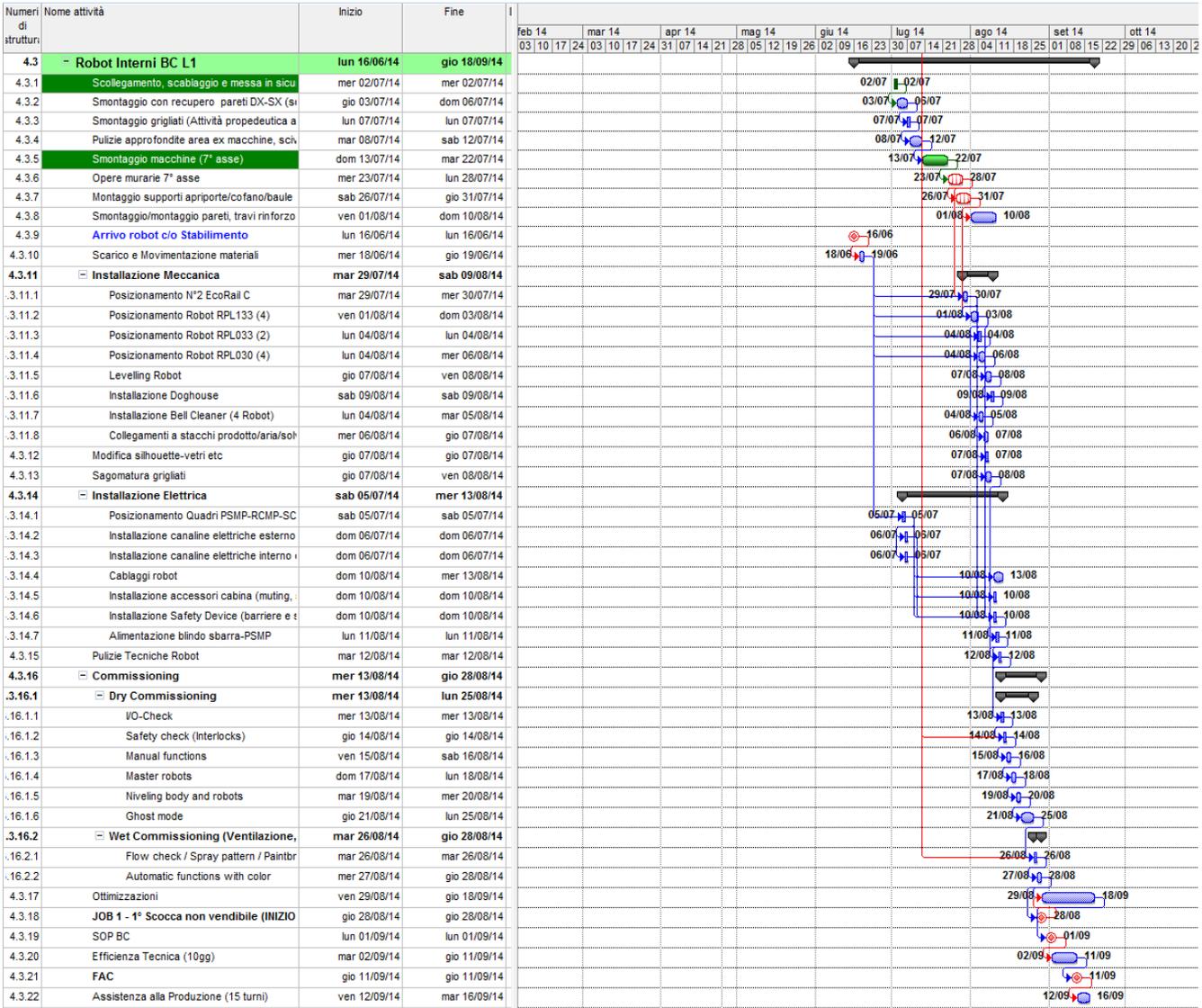
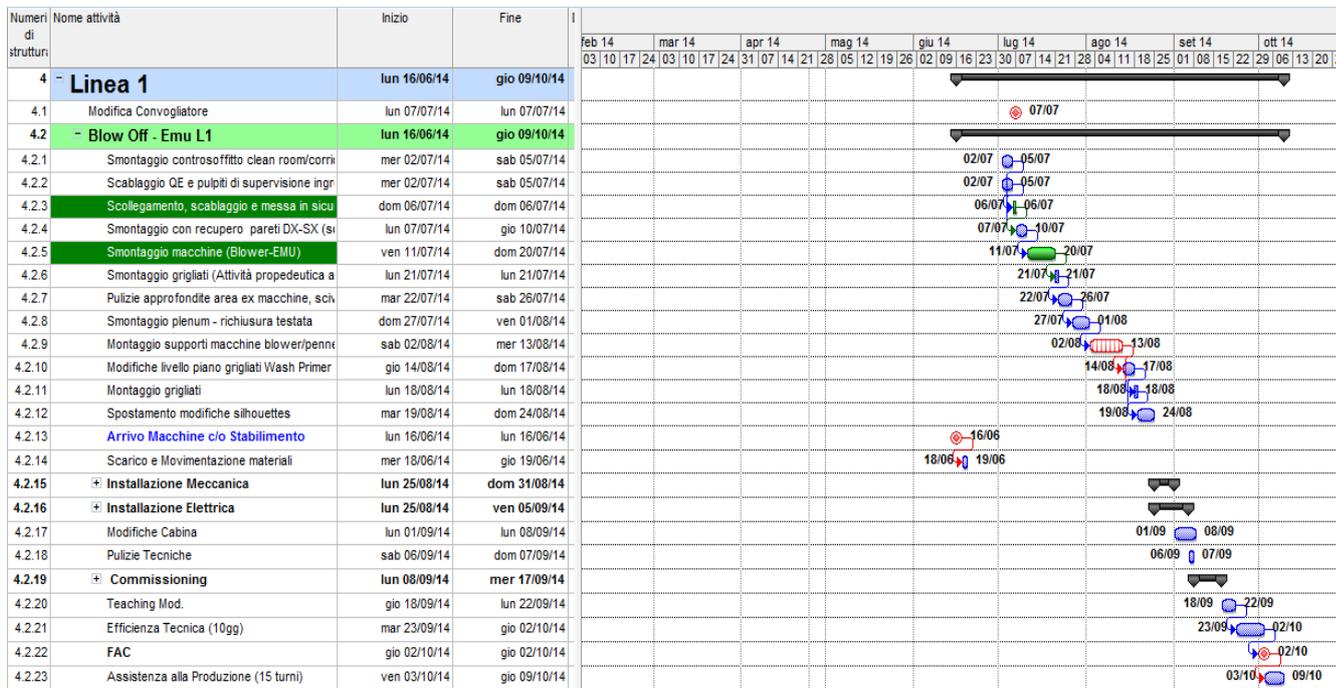


Figure 6.3 - 6.4 - 6.5 - 6.6 – Gantt dettagliati attività Interni Base

## 7 Applicazione della Failure Modes end Effects Analysis

Scopo di questo lavoro di tesi è, come spiegato nei capitoli precedenti, l'applicazione della Failure Modes end Effects Analysis (FMEA) al fine di ridurre le possibili problematiche riscontrabili durante i lavori di revamping della linea di verniciatura Primer Bicolore e delle Linee di verniciatura interni presso lo Stabilimento di SATA Melfi così da poter eseguire il Job 1 di ogni progetto nei termini e tempi stabiliti.

Per poter mettere in pratica tale procedura, come già indicato, si è partiti dall'analisi dei *work package* dei singoli progetti usati per la stesura dei diagrammi di Gantt necessari alla pianificazione delle attività di ogni commessa.

Essendo la FMEA una procedura induttiva che non considera, nella sua forma standard, le interconnessioni e i legami che intercorrono tra i componenti di un insieme meccanico, se applicata ad un prodotto, o le corrispondenti connessioni tra le fasi di un progetto, se applicata ad un processo/progetto, in prima istanza si sono considerati i singoli *work package* come disgiunti gli uni dagli altri, il cui completamento è quindi influente sui *work package* immediatamente collegato o quelli successivi connessi con quanto analizzato.

Seguendo quanto schedulato nel diagramma di Gantt, così da avere una sequenza di analisi, nonostante questa sia influente sul risultato finale in prima approssimazione, si è applicata la FMEA suddividendo il progetto in macro-fasi: *preconditions*, *smantellamenti*, *montaggi* (suddivisi in: *modifiche cabina*, *montaggi meccanici* e *montaggi elettrici*), *dry-commissioning*, *wet-commissioning*.

### 7.1 Preconditions

Con questo termine si considerano tutte le condizioni necessarie per poter iniziare i lavori, non solo da un punto di vista prettamente fisico, ma anche in sicurezza secondo la normativa vigente e le direttive interne dello Stabilimento. Tali *preconditions*, che sono tutte a carico di ditte esterne specializzate o di Stabilimento stesso, possono essere riassunte in: pulizie di azzeramento, pulizie tecniche, disponibilità della cabina e della linea, disponibilità di vernici, aria, acqua e contatti di sicurezza, disponibilità del Blindo Sbarra e disponibilità di scocche. Le *preconditions*

riportate sono le medesime, comuni, per entrambi i progetti analizzati, nonostante per ciascuno dei due progetti sia stato necessario inserire delle differenti e specifiche condizioni; essendo previsti sulla linea Primer dei lavori di modifica e potenziamento del sistema di trasporto è stato necessario aggiungere la condizione “disponibilità del convogliatore in soluzione finale”, così come per il progetto di revamping delle linee smalto, comprensivo della sostituzione delle stazioni di pulitura automatica, è stato necessario considerare la disponibilità di postazioni manuali durante la fase di ramp-up.

Le schede relative a tali analisi, sia per il progetto di revamping della linea Primer che per il revamping delle linee vernice con annesso sistema di pulizia, sono riportate nell'Appendice A B e C di questo lavoro di tesi.

Essendo tutte condizioni necessarie all'inizio dei lavori, si è deciso di dare un grado di importanza molto elevato in caso di mancata disponibilità di una delle componenti sopra indicate; si è deciso di assegnare un maggior peso alla voce “Pulizie di bonifica/azzeramento” in quanto, essendo necessario lavorare tagliando e saldando all'interno di cabine dove si sono accumulati residui di vernice a base solvente e solventi usati per il lavaggio dei macchinari (reciprocatori e robot), la componente di rischio di incendio e di pericolo per i lavoratori comporta un superiore grado di “severity” rispetto al resto delle *preconditions*. Essendo tale condizione così stringente, non solo per gli appaltatori, ma anche per le norme di sicurezza interna, solo i VVFF possono dare i permessi giornalieri, previa verifica delle pulizie eseguite da ditta specializzata, per poter eseguire tagli con flessibile e saldatura; durante le fasi di smantellamento e installazione supporti era presente una squadra di VVFF in cabina e sotto cabina, di modo da poter intervenire tempestivamente e ridurre le eventuali conseguenze dovute allo scoppio e propagazione di un incendio.

Data la natura “esterna” delle *preconditions*, ossia non legata ad azioni eseguite/esequibili da Verind o suoi sub-appaltatori o direttamente controllabili, le azioni correttive che si possono prendere non sono state riportate nelle tabelle presenti nell'Appendice A B e C, in quanto tutte riconducibili ad una sola azione, coordinamento ed allineamento da parte dei singolo PM di progetto delle varie aziende coinvolte, in quanto non avrebbero ridotto il valore di RPN in modo coerente con l'applicazione della FMEA, ma lo avrebbero scalato di un termine comune e uguale per tutti, non riducendo però il rischio “intrinseco” delle voci considerate.

In una seconda fase di analisi dei rischi, si è deciso di utilizzare un approccio più “organico”, tale da considerare le connessioni e collegamenti tra i vari *work package*, di modo da poter evidenziare i ritardi e gli extra-costi che il mancata corretta realizzazione delle *preconditions* avrebbe comportato. Per lo studio dei ritardi si è fatto ricorso direttamente al diagramma di Gantt, che opportunamente e correttamente costruito permette una rapida analisi di cosa avrebbe comportato un ritardo tra le *preconditions*. Per quanto concerne invece la valutazione dei costi al fine di stabilire un valore di “extra”, sia causato da mancanza delle condizioni necessarie al lavoro, sia causato per ritardi dovuti ad interferenze, e quindi fermo lavori, è stato un problema di non immediata risoluzione in quanto si potevano sfruttare determinate situazioni per poter procedere con altri lavori previsti in mesi futuri; tale condizione viene spiegata meglio nel paragrafo riguardante gli smantellamenti elettrici.

## 7.2 Smantellamenti

L’attività “Smantellamenti” comprende al suo interno due *work package*: smantellamenti meccanici e smantellamenti elettrici. Data la differente natura delle tipologia di disarmo e le diverse competenze richieste, ciascuna di queste attività è stata assegnata ad una società differente, di modo da poter garantire la presenza di manodopera specializzata e competente durante ogni fase del processo.

Le attività di smontaggio, sia elettrico che meccanico, per quanto molto simili tra i due progetti, prevedevano lo smontaggio di una macchina reciprocatore per la linea Primer, e stazioni robot su settimo asse per verniciatura automatizzata; tale differenza comporta un diverso approccio e metodologia per lo smontaggio delle varie macchine installate, con conseguenti differenze di tempo e mezzi utilizzati.

La società incaricata dello smontaggio elettrico della linea di verniciatura per esterni scocca (il cui revamping è sempre in carico a Verind, ma non oggetto di analisi per questo lavoro di tesi), è la medesima a cui Verind ha appaltato i lavori di montaggio (meccanico ed elettrico) della Linea Primer; eventuali giorni di fermo lavori sulla linea Primer, dovuti a cause esterne e non controllabili dal PM o SM di Verind, si sarebbero potuti sfruttare per eseguire anticipatamente le attività di smantellamento della linea esterni vernice, essendo questa stessa ferma e non

produttiva. In questo modo, anticipando delle attività che si erano pianificate per i mesi successivi, il rischio legato al fermo lavori, si sarebbe trasformato in un'opportunità, rendendo tale condizione di imprevisto una situazione/evento sfruttabile per poter trarre un potenziale vantaggio futuro (come ad esempio la riduzione dei tempi di revamping della linea esterni vernice).

Analogamente, anche gli smontaggi meccanici della linea interni è stata appaltata alla medesima società che ha eseguito quelli sulla linea Primer, ma essendo che i peridi di lavoro per lo smontaggio meccanico della macchina reciprocatore sono stati eseguiti in tempi non compatibili con un'anticipazione dei lavori sulla linea esterni non è stato possibile sfruttare una "sovrapposizione" temporale; in questo frangente si è potuto trasformare una rischiosa condizione di fermo attività in una opportunità.

A causa della ridotta finestra temporale concessa da Stabilimento per l'esecuzione dei lavori di montaggio e smontaggio delle linee di verniciatura interni e la mancanza di progetti su cui impiegare le risorse, ogni ritardo riconducibile a mancate *preconditions* o altre cause, esterne o interne, è stato considerato come un rischio puro, senza possibilità di renderlo un'opportunità favorevole per Verind o Stabilimento.

Tra i possibili rischi legati alle attività di smantellamento, sia elettrico che meccanico, si sono dovute sempre seguire le direttive e richieste riguardanti i criteri di recupero imposti da Stabilimento; alcuni componenti, di fatti, possono essere usati come parti di ricambio (specialmente in ambito meccanico, come ad esempio alcuni filtri). Il non rispetto di tali criteri avrebbe comportato ritardi su altre attività, in quanto le risorse sarebbero state impegnate nella suddivisione a posteriori del materiale di recupero; oltre a queste possibili cause di rischio, inteso come rischio di ritardo ed extra-costi, sono da considerare anche i possibili ritardi di inizio dovuti a cause esterne e la possibilità di danneggiare la struttura permanente delle linee di verniciatura. Il danneggiamento di tali strutture avrebbe comportato l'obbligo di loro ripristino immediato, con conseguente dispendio di tempo, risorse e materiali imprevisto rispetto a quanto programmato.

Per la "componente" di smantellamenti meccanici si necessita del permesso di taglio e saldatura, che viene rilasciato solamente dai VVFF; l'acquisizione di tale permesso è stata discussa nel paragrafo precedente, insieme alle *preconditions* di azzeramento cabina.

### 7.3 Modifiche cabina

All'interno dei *work package* oggetto della seguente analisi confluiscono sia i lavori di montaggio delle strutture atte al rinforzo della cabina, sia quelle necessarie per l'installazione delle strutture di supporto dei robot (siano essi a sei o a sette assi), sia tutte le opere di modifica necessarie per il posizionamento delle macchine di depolveratura e dei robot (allargamento pareti cabina, spostamento porte, etc).

Tali lavori si rendono necessari per poter irrigidire le pareti delle cabine e le strutture di supporto della stesse, così da ridurre le vibrazioni dovute ai moti dei robot e ridurre la freccia di deformazione delle pareti della cabina. Queste modifiche strutturali si rendono necessarie in quanto sono stati cambiati i macchinari per l'applicazione della vernice, passando da una macchina reciprocatare, nel caso della linea Primer Bicolore, e da robot di "vecchia" generazione per la linea applicazione Base Coat per gli interni.

Come per i lavori di smontaggio sono necessari speciali permessi erogati dai Vigili del Fuoco per il taglio e la saldatura; tutti i materiali utilizzati per le installazioni devono essere certificati, così come gli studi delle strutture atte al supporto delle macchine e all'irrigidimento delle cabine.

Applicando la FMEA ai *work package* relativi a questi lavori sono stati individuati tutti i potenziali rischi e le relative azioni correttive che, se intraprese nei tempi opportuni, sono in grado di ridurre l'impatto dei rischi individuati. Le tabelle FMEA, con i principali rischi e modi di guasto individuati, sono riportati in Appendice A B e C.

Il principale rischio connesso a questi *work package* è quello legato ad un insufficiente irrigidimento della cabina e ad un errato dimensionamento delle strutture atte al supporto e sostegno dei robot; da considerare che tali strutture devono essere installate partendo dal fondo della cabina, al disotto del piano di raccolta vernici e acque, fino ad una profondità di circa 7mt rispetto al piano grigliato (considerato come piano +0 mt). Al fine di poter controllare e verificare le strutture installate è stata chiesta una relazione dettagliata sul calcolo delle strutture stesse, così da poterne verificare l'affidabilità e la corretta progettazione. Tale documentazione è stata richiesta anche da parte del Cliente, così da poter verificare la progettazione.

I materiali per il rinforzo delle cabine, così come le strutture installate sotto cabina, devono essere in materiali idonei ed approvati da Stabilimento, in quanto tali installazioni, che vanno a modificare una struttura pre-esistente, non devono inficiare il funzionamento della stessa; devono

essere previsti materiali compatibili con quelli già installati, così da poter sia essere saldati senza difficoltà e permettere una completa raccolta dei liquidi che passano e vengono raccolti sotto il grigliato, sia garantire una tenuta sufficientemente duratura nel tempo.

A causa delle tempistiche differenti e delle diverse aziende coinvolte per la realizzazione di tali opere, non è stato possibile eseguire una schedulazione delle attività che potesse considerare eventuali sinergie o sovrapposizioni. E' stato possibile, per il progetto della linea Primer , schedulare le attività su più giorni senza limiti dovuti a strette tempistiche; tale schedulazione è risultata invece impossibile per le attività sulle linee Interni che, a causa delle richieste e condizioni imposte dal Cliente.

Grazie ad una analisi dei rischi e un controllo stretto dell'avanzamento dei lavori, tutte le date di termine previste per il termine dei lavori di rinforzo sono state, per il momento, rispettate, consentendo di poter proseguire con le altre fasi dell'installazione (montaggi meccanici ed elettrici dei robot e relative strutture per il settimo asse) senza ritardi.

#### **7.4 Montaggi meccanici**

All'interno dei *work package* oggetti della seguente analisi confluiscono sia i lavori di posizionamento e fissaggio dei robot, sia, per la commessa riguardante il revamping della linea smalto, quelli necessari per l'installazione delle strutture relative al settimo asse, il posizionamento e montaggio delle macchine di depolveratura; sono intese comprese nel montaggio dei robot anche tutte le attività di installazione relative agli strumenti meccanici e pneumatici atti al funzionamento e controllo dei robot stessi e tutte le connessioni a tubazioni e circolatori.

Il trasporto dei robot all'interno delle cabine avviene tramite l'utilizzo del convogliatore che trasporta uno skid su cui è stato posizionato opportunamente il robot da installare; per questo motivo il funzionamento del convogliatore stesso rientra tra le *preconditions* necessarie per poter procedere con le fasi di installazione e montaggio e, in caso di sistema di trasporto non funzionante (o non disponibile), il danno che ne risulta è da considerarsi sia come un aumento dei costi che una dilatazione dei tempi di montaggio, con conseguente ritardo di consegna dell'impianto e ritardo di relativa fatturazione..

Come anticipato, nel *work package* dei montaggi meccanici confluiscono anche tutti gli adattamenti, ove necessari, degli stacchi valvola dai circolatori ( siano essi per primer, solventi, aria, acqua o colori ), posa di nuovi circolatori o dorsali e le relative connessioni. Il posizionamento di nuovi circolatori non è stato eseguito da Verind, ma da un'altra azienda che ha ricevuto direttamente un ordine dal Cliente; è stato però necessario un allineamento tecnico tra le due società per stabilire con precisione i relativi limiti di fornitura e le specifiche tecniche delle connessioni-valvole. A fronte dell'allineamento tecnico e dei verbali di riunione condivisi tra il Cliente e le varie società, si è erroneamente valutata come minima la possibilità di errore relativa alla fase di installazione della raccorderia finale degli stacchi valvola e delle dimensioni della nuova dorsale dell'aria necessaria per l'alimentazione delle nuove postazioni di verniciatura automatizzate.

Unitamente al posizionamento dei robot e la posa in opera delle nuove dorsali, questo *work package* comprende anche il posizionamento e fissaggio di alcuni cabinet (chiamati MVS) necessari per l'alimentazione dei robot. Per poter eseguire le connessioni tra i cabinet e i robot, è stato necessario forare la parete della cabina, e quindi richiedere nuovamente i permessi per taglio; tali permessi sono anche stati necessari per l'installazione della strumentazione sotto grigliato per il cambio colore e la pulizia delle coppe robot. Tutti questi lavori sono stati necessari sia per la linea Primer, che per la linea Interni Base con la sola eccezione che, essendo i robot degli Interni montati su settimo asse (ossia una rotaia scorrevole posizionata esternamente a bordo linea), non sono stati installati i quadri MVS in quanto già inclusi nella "dog house", ossia il cassonetto in cui è contenuta la rotaia del settimo asse e la strumentazione di controllo ed approvvigionamento per i robot.

Per il progetto di revamping della linea interni è stato necessario modificare ed installare anche le strutture atte al supporto e sostegno delle macchine di depolveratura; si sono dovute spostare delle porte, chiudere varchi di accesso, sezionare e potenziare il sistema di aria compressa per l'alimentazione delle macchine e dei robot. Questi lavori sono stati necessari per il revamping della linea primer, dove una modifica del sistema di aerazione ed abbattimento non era richiesta.

I lavori di installazione meccanica comprendo, come anticipato, il fissaggio dei robot ai relativi supporti; tale fissaggio viene eseguito tramite saldatura della base robot al supporto stesso. La saldatura viene eseguita solamente dopo una verifica dell'installazione e del

posizionamento del robot stesso, e al termine di misurazioni eseguite da un tecnico specializzato che ne certifica la corretta esecuzione. Tale saldatura rende solidale il robot con la struttura di supporto, di modo che la sua posizione, a cui sono legati tutti i parametri dei programmi di verniciatura, non possa variare mai nel tempo. Anche una minima variazione di posizionamento, millesimi che si cumulano nel tempo, potrebbe portare ad una non più efficiente verniciatura della scocca, con un conseguente deterioramento della qualità e la necessità di riprese e ritocchi manuali, comportando un eccessivo utilizzo di vernice, ossia uno spreco, e quindi costi evitabili.

L'esecuzione dei lavori di montaggio meccanico si sono svolte senza possibilità di sinergie con altri progetti, sia per quanto concerne il progetto di revamping della linea Primer, sia per quello delle linee interni basi; data la ridotta finestra temporale per l'esecuzione dei lavori sulla linea interni è stata necessaria una precisa schedulazione delle varie attività, così da evitare sovrapposizioni che avrebbero fermato alcune squadre, con le relative conseguenze di dilatazione temporale ed economica. I lavori eseguiti sulla seconda linea di interni, che è stata la prima ad essere stata aggiornata, hanno permesso di individuare possibili problemi e relative soluzioni da poter implementare durante i lavori sulla Linea 1.

All'interno di questo *work package* confluisce, per la sola linea Primer, anche l'installazione del sistema di anti incendio a CO<sub>2</sub>; questo sistema, che rileva la presenza di scintille presso la turbina presente all'interno del robot, è necessario al fine di smorzare immediatamente possibili incendi che potrebbero nascere nel robot e propagarsi poi al resto della cabina e, nel caso estremo, a tutto il

La applicazione della FMEA a questi *work package* ha portato alla stesura delle schede riportate in Appendice A B e C che, come per le altre riportate in questo lavoro di tesi, sono riassuntive delle attività svolte e non presentano tutti i possibili modi di guasto analizzati e trattati, bensì solamente i più significativi o comuni.

## 7.5 Montaggi elettrici

Analogamente al *work package* riguardante i montaggi meccanici, quello oggetto della seguente analisi è composto da più attività, le più importanti delle quali sono state riportate nel diagramma di Gantt sotto riportato.

Questo *work package* comprende al suo interno l'installazione delle canaline elettriche (in acciaio INOX o zincato, in base alla loro locazione se interna o esterna rispetto alla cabina di verniciatura, e quindi in zona Atex o non Atex), i relativi sezionatori, i cavi necessari all'alimentazione e gestione delle stazioni robot (hardwire, Profinet, Profibus etc.) e tutti i componenti necessari per l'identificazione della scocca al suo passaggio, i sensori di prossimità per la disattivazione dei sistemi di sicurezza (barriere luminose), e i sistemi di sicurezza stessi. Tutti questi componenti devono poi essere connessi ai quadri di controllo e alimentazione dei robot, del convogliatore, del sistema aeraulico, di sicurezza della linea e al quadro dei Vigili del Fuoco. Gli interblocchi di tali sistemi, a meno delle predisposizioni nei quadri dei robot, sono stati gestiti ed installati interamente da Verind S.p.A. .

Il passaggio delle canaline, così come il posizionamento dei quadri elettrici, è stato condiviso con il Cliente finale e la sezione di Tecnologie di FIAT; si è optato per una soluzione tale per cui solamente i quadri di gestione della stazione (SCMP, ossia, Station Control Modular Panel) si trovino al medesimo piano della linea che vanno a gestire, mentre tutti gli altri, ossia quelli di alimentazione della stazione e quelli dedicati ai singoli robot, sono stati posizionati su un altro piano, di modo da lasciare maggior agio agli operatori a bordo linea. Questa disposizione è stata applicata sia per la Linea primer che, anche in virtù della presenza della "dog house", per le linee di verniciatura interni.

Unitamente alle installazioni dei quadri e loro cablaggi, sono anche stati installati i sistemi di messa a terra della linea e i sezionatori per il blindo sbarra necessari per l'alimentazione delle stesse; Stabilimento ha dato un precisa disposizione su dove e come possono essere eseguiti i lavori ed installazioni per la messa a terra dell'impianto e relativo stacco da blindo sbarra. Questi cablaggi, così come tutti gli altri componenti l'impianto, devono essere certificati da personale esperto ed autorizzato e compongono parte integrante della documentazione da consegnare, in copia originale, al Cliente al momento del "passaggio della linea" e della fatturazione della quota finale del progetto, la mancata consegna della documentazione comporta, talvolta, l'impossibilità della fatturazione, con relative conseguenze.

Trattandosi di progetti di revamping, in cui quindi si va ad agire all'interno di fabbricato già esistente e con determinati passaggi obbligatori, in quanto legati al posizionamento dei quadri e al lay-out dei robot presso la linea, e con altrettanti varchi già utilizzati da precedenti installazioni sono stati necessari una attenta valutazione e studio del percorso ottimale al fine di ridurre al

minimo le lunghezze dei cavi, al fine di rispettare le specifiche tecniche imposte per i cablaggi dei robot e ridurre il consumo di materiale, con conseguente risparmio sia in termini di tempi di installazione che economici di materie prime.

Purtroppo, le finestre temporali in cui si sono svolti/si svolgeranno i lavori di installazione elettrica delle linee non hanno permesso alcuna forma di sinergia tra le risorse impiegate; sarebbe stato auspicabile poter sfruttare eventuali fermi impianto o blocco dei lavori su una delle linee oggetto di revamping così da poter procedere con i lavori sulle altre, ma tali circostanze non si sono presentate.

Il risultato della applicazione della FMEA al *work package* comprensivo delle installazioni elettriche ha portato alla stesura delle schede riportate in Appendice A B e C; come per gli altri *work package* anche queste schede sono il sunto di quanto analizzato in questo lavoro di tesi.

## 7.6 Dry Commissioning

Con questo *work package* si intende la prima fase del *commissioning*, ossia quella in cui viene testata la linea nelle sue componenti costitutive, ma senza apporto di vernice o prove di applicazione. Vengono quindi verificati i cablaggi, l'alimentazione elettrica e pneumatica della linea (sia dei robot che i sistemi aerulici di cabina), i sistemi di sicurezza e riconoscimento scocca, così come vengono controllati i corretti posizionamenti dei robot (intesi come verifica del rispetto delle coordinate locali e zero cabina, delle tolleranze, gli ultimi fissaggi delle apparecchiature) ed eseguito il *ghost mode* della linea; vengono altresì controllati e verificati gli interblocchi delle sicurezze e i segnali di allarme tra cabina, convogliatore, CTA e antincendio.

Durante la fase di *Dry Commissioning* vengono registrati i primi dati necessari per parte della certificazione della linea, vengono valutati e monitorati gli assorbimenti dei robot ed eventualmente delle macchine di depolveratura. Al fine di poter eseguire tutti i controlli e test, così come per i primi avviamenti dei robot si rende necessaria la presenza di personale specializzato ed opportunamente formato; tale personale viene identificato nelle figure dei *teacher* Verind e/o eventualmente nei tecnici Dürr.

In questa fase, se non vi è stato un pre-schieramento in Dürr con relativo pre-commissioning e messa in opera dei robot, grazie ad una analisi dei programmi in off-line e ad una loro prova in

*ghost mode*, si possono riscontrare i primi errori di *path-program* e procedere alla relativa modifica/risoluzione.

Per il progetto di revamping della linea primer non era previsto alcun pre-schieramento dei robot, in quanto date le tempistiche per l'installazione ed avviamento non si è ritenuto necessario impegnare risorse in quel senso; diversamente, per il revamping delle due linee *base coat* interni in cui le tempistiche non permettevano una correzione degli errori di programmazione direttamente *on-site*, con conseguente dilatazione delle tempistiche di avviamento e messa a punto, e per cui il Cliente aveva anche già acquistato un pacchetto di pre-ottimizzazione dei parametri di verniciatura per uno dei modelli che andranno in produzione, si è eseguito un pre-commissioning presso la struttura appositamente dedicata alle prove e verifiche presso la sede di Bietigheim-Bissingen di Dürr GmbH.

Questa fase di commissioning deve essere eseguita con la massima cura ed attenzione, onde evitare di avere problemi durante la successiva fase di prove, ossia durante il *wet commissioning*, in cui la stazione viene interamente messa in funzione con apporto della vernice e applicazione della stessa.

In questa fase vengono anche verificati, ove presenti e se compresi nello scopo di fornitura, i sistemi di depolveratura; per la linea primer queste macchine non erano previste, bensì sono state installate sulle linee di verniciatura interni base, e quindi verificate durante *dry commissioning* della linea in quanto non richiedono l'apporto di vernice ma solo aria compressa per la pulizia.

Come per tutti gli altri work package analizzati in questo lavoro di tesi, le schede riassuntive risultati dall'applicazione della FMEA sono riportate nell'Appendice A B e C.

## 7.7 Wet Commissioning

Il *Wet Commissioning* è l'ultima fase di avviamento di una linea di verniciatura; tutti i collegamenti, cablaggi, verifiche delle sicurezze sono già stati controllati ed approvati da personale autorizzato e specializzato, che ha quindi dato il suo consenso per la messa in funzione dell'impianto.

In questo periodo vengono eseguite le prime prove di verniciatura (senza scocche), vengono controllati, ove presenti, cambio colore, i sistemi automatici di pulizia, il rispetto dei tempi di

cambio colore e vengono eseguite ulteriori prove in *ghost mode* per controllare gli sporcamenti, le eventuali interferenze tra le erogazioni di vernice e lame d'aria.

Poiché il direzionamento della vernice avviene, una volta che la stessa è stata nebulizzata, attraverso delle lame di aria pressurizzata (una o due lame a seconda della tipologia di applicazione e della qualità e precisione richiesta), è necessario che non vi siano interferenze tra le erogazioni contemporanee di due o più robot, di modo da poter evitare turbini o vortici che comporterebbero una errata copertura superficiale, con la conseguente mancanza di raggiungimento di tutte le zone da verniciare, degli spessori richiesti e degli standard qualitativi necessari per l'approvazione della scocca. E' sempre necessario considerare anche che in cabine è attivo un sistema di abbattimento che consiste nella presenza di una corrente di aria che, oltre a mantenere una leggera sovrappressione in cabina così da evitare che corpi estranei possano entrare e posizionarsi sulla scocca inficiando il risultato finale, spinge la vernice verso il basso, modificando già le lame di aria erogate dal robot.

Il *work package* riguardante il *wet commissioning*, così come il *dry commissioning*, per quanto possa avere al suo interno solamente poche attività se paragonato a quelli delle installazioni meccaniche o delle modifiche delle cabine, comporta un maggior rischio rispetto agli altri, in quanto, data la sua vicinanza temporale alla data stabilita per il Job 1 (che avviene appena terminato il commissioning o al termine delle ottimizzazioni in base agli accordi contrattuali presi in fase di offerta e stipulazione di contratto, e dalle tempistiche concesse per le ottimizzazioni) un qualsivoglia errore o danneggiamento dei robot non sarebbe recuperabile o riparabile entro le date stabilite; per ridurre i rischi connessi a tele imprevista ed eventuale condizione di guasto, sono presenti presso lo Stabilimento, al momento dei commissioning e durante gli avviamenti, dei componenti di ricambio extra (chiamati *stand by materials*), così da poter sostituire i componenti in breve tempo e non fermare le prove o le ottimizzazioni.

Le schede riassuntive delle analisi FMEA eseguite su questo *work package*, così come per tutti gli altri *work packages* analizzati, sono riportate in Appendice A B e C.

## 7.8 FMEA varie

Unitamente alle schede relative ai *work package* presentati nei paragrafi precedenti, sono state analizzate anche ulteriori “fasi” dello sviluppo del progetto che, anche se non incluse nel Gantt da cui sono stati tratti i *package* per le analisi precedenti, sono ugualmente “componenti” costitutive del progetto stesso; questi pacchetti di analisi, sia in quanto la loro scarsa complessità non richiede un paragrafo a se stante di analisi ed approfondimento, sia in quanto già citati marginalmente in altri capitoli di questo lavoro di tesi, sono stati analizzati insieme in questo sotto-capitolo. I *work packages* a cui si fa riferimento sono quelli riguardanti la documentazione, la verifica dei materiali presso i fornitori una volta che questi stessi hanno dato l’avviso di merce pronta, l’installazione della *dog house* necessaria al funzionamento del settimo asse per il revamping della linea di verniciatura interni.

Come anticipato nei capitoli precedenti, la documentazione è parte integrante del progetto, fondamentale per poter richiedere parte della fatturazione al Cliente (sia esso il Cliente Finale, quindi Stabilimento, o Tecnologie). Per documentazione si intendono non solo le relazioni di calcolo relative alle strutture di sostegno ed irrigidimento, ma anche i manuali di uso e manutenzione, le schede WCM, la lista delle parti di ricambio consigliate e strategiche, i certificati dei materiali installati ed usati, tutti i documenti richiesti dalla legge e dalla norma. Questa documentazione, intesa nella sua interezza, è disponibile solamente una volta che la linea robot è stata installata ed avviata, in quanto parte dei documenti da consegnare sono i disegni *as-built* dei quadri elettrici e dei lay-out di impianto (posizionamento quadri e cabinet); risulta quindi immediatamente comprensibile il motivo per cui un ritardo nella consegna di questo *work package*, per quanto non infici l’installazione o l’avviamento dell’impianto, possa avere conseguenze altrettanto incisive per l’azienda.

Analogamente, il posizionamento e l’installazione della *dog house*, che viene in parte costruita su misura ed in parte con dimensioni e componenti standard, è un passaggio critico non solo della fase di installazione, ma anche di quella di progettazione, in quanto è necessario considerare lo stato attuale *as-build* del building, con le relative modifiche che non sempre sono riportate sui disegni in quanto eseguite da aziende diverse. L’installazione di questo assieme è necessaria per il successivo posizionamento e fissaggio dei robot su settimo asse, così come per tutta la strumentazione di controllo necessaria. Essendo l’interno della *dog house* considerato, e quindi certificato, come zona ATEX è necessario che in tale volume sia sempre presente una

minima sovrappressione; questa necessità si trasforma in una severa richiesta sulla qualità delle chiusure e pannellature della “house” stessa, sia verso la *clean room* che verso l’interno della cabina di verniciatura. Si ricorda che la *dog house* è un “componente” installato solamente presso la cabina di verniciatura interni.

Le schede FMEA relative a questi *work packages* sono riportati nell’Appendice A B e C; anche in questo caso, non diversamente dagli altri presentati precedentemente in questo capitolo, sono stati riportati in maniera sintetica, volendo trascrivere solamente i modi di guasto valutati più probabili e le relative azioni correttive messe in atto dal PM di progetto (o SM in caso di azioni e decisioni prese *on site*).

## 8 Conclusioni e sviluppi futuri

Come illustrato dalle schede riportate in Appendice A B e C, i modi di guasto per i *work package* analizzati sono molteplici e, talvolta, possono essere sottovalutati, o addirittura in alcuni casi estremi non considerati (quelli non considerati, per ovvi motivi, non compaiono nelle schede FMEA), se non si procede all'analisi degli stessi in maniera organica e metodica; per quanto la FMEA sia un metodo induttivo, fortemente influenzato dalle esperienze e conoscenze delle persone che compongono il team di analisi, l'applicazione di questo strumento per la valutazione dei rischi e relative azioni correttive ha permesso al Project Manager dei progetti di poter anticipare eventuali situazioni e condizioni di rischio per i progetti stessi. Allo stesso modo ha offerto la possibilità di cogliere opportunità derivanti da condizioni non previste al momento della stipulazione del contratto di appalto o in sede di prima schedulazione delle attività.

Di seguito vengono riportati alcuni dei diagrammi di Gantt con le possibili schedulazioni delle attività in ritardo se non fossero state prese misure correttive su determinate attività.

I costi dovuti eventualmente sostenere a causa di ritardi delle attività, dell'eventuale rifacimento di lavori o legati ad una situazione imprevista e non considerata al momento dell'analisi in team dei work package e relativa stesura delle schede non sono stati riportati in questo testo del lavoro di tesi poiché, per quanto siano stati analizzati ed utilizzati per lo sviluppo delle commesse successive e relativi budget, sono dati aziendali interni coperti da un vincolo di riservatezza.

### 8.1 Melfi Primer Revamping

Avendo a disposizione una finestra temporale piuttosto ampia per questo progetto, tanto da poter consentire l'esecuzione di degerminate attività in maniera non continuativa con un intervallo di fermo lavori a settembre, l'eventuale ritardo della conclusione dei work package relativi alle modifiche cabina non avrebbe comportato un "danno" al progetto, risultando quindi un rischio non così rilevante come invece lo è per l'attuale *revamping* della linea di verniciatura interna. Come mostra il Gantt sotto riportato, il *float* accettabile per le attività sopra indicate è di

circa due settimane, un tempo sufficiente a completare tutti i lavori preparatori prima dell'arrivo dei robot presso lo Stabilimento.

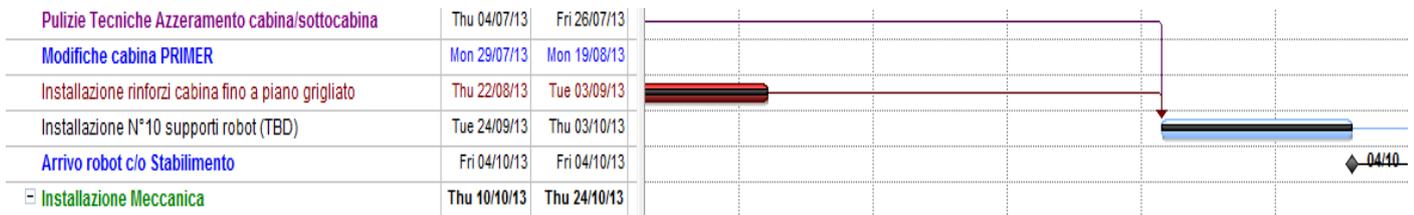


Figura 8.1 – Float delle attività di installazione rinforzi

Una volta consegnati i robot, però, la finestra temporale concessa per la loro installazione ed avviamento non avrebbe permesso ritardi o posticipazioni nell'esecuzione dei lavori; purtroppo a causa di impreviste condizioni operative, mancanza di materiale non imputabile a Verind, la consegna dell'impianto prevista per fine ottobre 2013 è stata posticipata di dieci giorni fino al 07.11.2013, come sotto riportato.



Figura 8.2 – Data effettiva del JOB 1

Causa di questo slittamento sono state la mancanza delle opportune scocche e skid per l'esecuzione delle misurazioni necessarie per la finitura delle programmazioni, una errata installazione della nuova dorsale di aria compressa necessaria per l'alimentazione dei robot stessi; ad influenzare questa posticipazione sono stati anche i fermi dovuti alla Cassa Integrazione dello Stabilimento, e qualche difetto nella programmazione delle logiche di *degrade mode* dei robot in caso di *failure* di uno di essi nella stazione *primer* e/o bicolore.

Purtroppo, nonostante siano state messi in atto tutte le azioni possibili/previste per poter evitare, ove possibile, i suddetti modi di guasto, quanto fatto non è bastato anche perché gli attori coinvolti in questo progetto hanno sempre dato conferma della corretta esecuzione dei lavori/programmazioni, permettendo quindi di riscontrare le mancanze solamente all'ultimo momento.



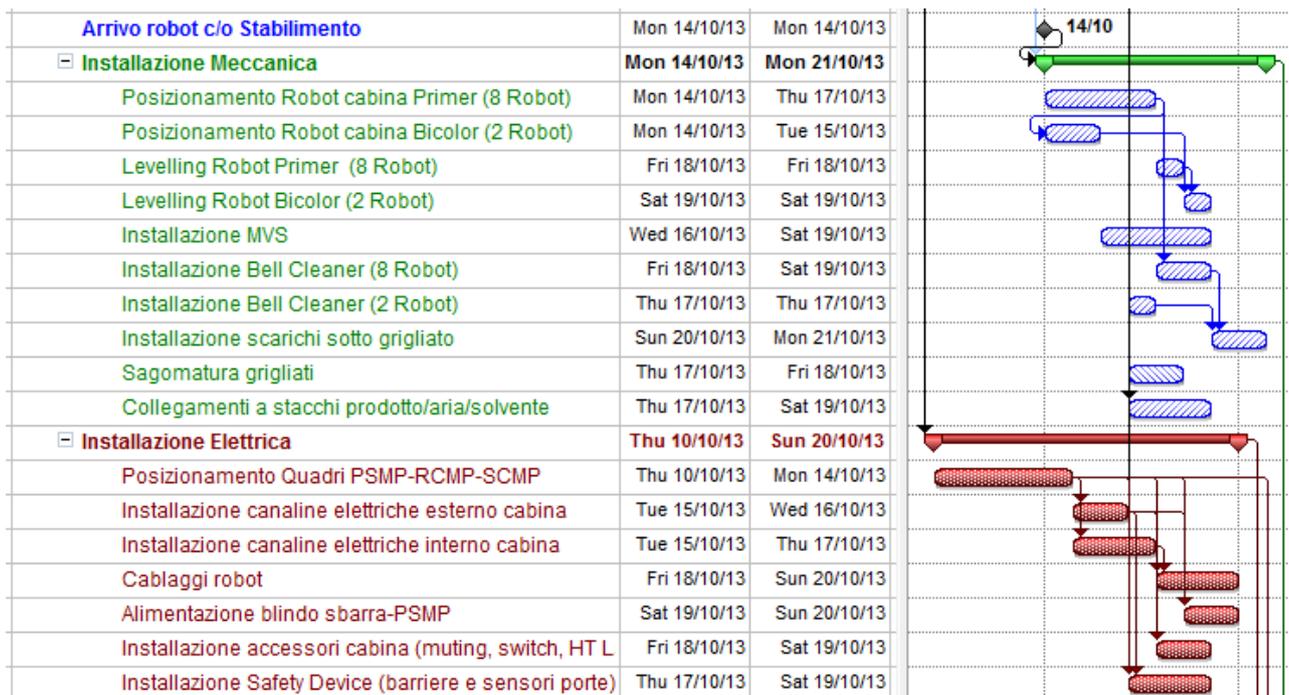


Figura 8.4 – Eventuale inizio installazioni robot a causa di ritardi di consegna

## 8.2 Melfi Interni Revamping

Contrariamente a come è stato possibile eseguire e pianificare per il *revamping* della linea *primer* in quanto la finestra temporale concessa per i lavori sulle stazioni di verniciatura di interni base è molto ridotta, è stato necessario, al fine di rispettare i tempi per l'ammmodernamento di almeno una delle due linee, sfruttare al massimo il fermo delle stazioni a valle, come spiegato nei capitoli precedenti.

In questo caso un ritardo, anche solamente di un giorno, del completamento di una qualsiasi delle attività che compongono i vari *work package* di progetto o che rientrano tra le *precondition* dello stesso avrebbe comportato un ritardo a cascata delle attività ad esso collegate. Per quanto durante le analisi eseguite tramite la FMEA tutti i *work package* sono stati trattati come indipendenti gli uni dagli altri, riportando i possibili ritardi sul diagramma di Gantt si sono potuti subito osservare gli effetti che avrebbe comportato un mancato rispetto delle scadenze.

Al fine di poter valutare la durata complessiva dei lavori di *revamping* della linea di verniciatura interni è stato necessario riportare la durata di tutte le attività su un unico diagramma di Gantt, e da lì partire per l'esecuzione della FMEA; il diagramma complessivo che ne è risultato è

stato poi stampato su un foglio in formato A0 dato che le dimensioni del risultato della schedulazione non consentivano una stampa su di un formato più piccolo.

Di seguito, sono riportati i Gantt delle schedulazioni eseguite considerando inefficaci le possibili azioni correttive intraprese dal PM o dal SM; grazie ai numerosi sforzi degli stakeholder coinvolti la linea 2 è stata avviata entro i termini previsti, ossia il 30 maggio 2014.



Figura 8.5 – Possibile JOB 1

L'immagine sopra riporta indica la possibile data del Job 1 in caso di ritardo di soli 2 giorni dei lavori sul convogliatore; come si può notare rispetto a quanto pianificato lo scostamento sarebbe di quasi una settimana.

Analogamente per altri *work package* non dipendenti da Verind, così come per altri legati alle attività dell'azienda e quindi controllabili direttamente dal PM dal SM, il risultato sarebbe un ritardo di svariati giorni rispetto a quanto pianificato e concordato in fase di vendita.

Per il progetto di *revamping* delle linee interni, si sono già parzialmente sfruttate le competenze acquisite durante l'applicazione della FMEA per il progetto di *revamping* della linea *primer*, tanto che l'analisi eseguita è stata più rapida e, a fronte anche di quanto emerso in cantiere, più approfondita della precedente.

### 8.3 Conclusioni e sviluppi futuri

La FMEA, che solitamente viene impiegata in fase di analisi dei rischi legati ad un componente o un assieme di componenti, è stata in questo lavoro di tesi applicata a progetti di *revamping* di linee, stazioni, di verniciatura presso lo Stabilimento SATA di Melfi, scomponendo i progetti stessi, visti come un assieme di attività, nei work package costituenti tutte le fasi del progetto; tali work package, che sono quindi paragonabili ai componenti costitutivi di un assieme, sono stati successivamente analizzati singolarmente per identificare tutti i possibili modi di guasto e le azioni correttive da poter/dover eseguire al fine di ridurre l'impatto dei modi analizzati.

Per quanto la FMEA analizza singolarmente i componenti di un assieme, perdendo quindi un carattere organico dell'approccio all'analisi del rischio, in questo lavoro di tesi si è eseguito anche uno studio sulle conseguenze che il verificarsi di un modo di guasto singolo avrebbe potuto comportare per l'intero progetto; grazie alle finestre temporali disponibili per il progetto di *revamping* della linea *primer*, il verificarsi di situazioni impreviste, o considerate con un livello di controllo sufficientemente elevato da non renderle soggette ad azioni correttive (preventive o meno), non ha comportato un ritardo nella consegna della stazione che, comunque, è slittato a causa di mancanze non imputabili a Verind e, quindi, non controllabili in maniera diretta dal PM del progetto.

Come mostrato nel paragrafo precedente, e nei capitoli antecedenti, il progetto di *revamping* delle linee di interni base, che è ancora in corso e si concluderà a settembre, per il momento sta rispettando la schedulazione concordata in termini di date di consegna e di avvio linea. I costi, sia per il *revamping* della linea *primer* che per quelle di interni, non sono oggetto dell'analisi di questo lavoro di tesi; se così non fosse stato, si sarebbero applicate le tecniche riportate sul PM-BOK o presentate in letteratura per poter controllare l'avanzamento contabile del progetto, valutarne i flussi cassa, i rischi connessi a ritardi/opportunità di pagamenti o di fattura.

L'applicazione della FMEA unitamente all'utilizzo di tecniche di Project Management e software dedicati ha portato, specialmente nel caso del progetto della stazione interni, a rispetto di quanto concordato contrattualmente, sia in termini di tempistiche che di efficienza di applicazione.

Visti i risultati promettenti che l'applicazione di tale metodologia ha comportato, si è deciso di procedere con una standardizzazione della procedura stessa plasmata sulle esigenze dell'azienda; avendo i progetti di *revamping* delle componenti comuni, a prescindere dalla tipologia di linea che si va ad ammodernare, o dalla vernice che verrà applicata, o dalla locazione geografica dello Stabilimento in cui verrà eseguito l'ammodernamento, si potranno già sfruttare i risultati riportati nelle schede FMEA per poter iniziare, in una prima fase, a prevedere le azioni correttive da intraprendere. Essendo però ogni progetto unico e a sé stante, questo lavoro di standardizzazione non potrà coprire la totalità dei work package che lo comporranno, motivo per cui sarà sempre necessario eseguire una analisi ad hoc; per agevolare tale lavoro si è deciso di non usare una scala decimale per i parametri oggetto di analisi, ma una scala ridotta a sole tre voci di valutazione, che corrispondono ad un "rischio" basso, medio ed alto, così da avere una più rapida possibilità di analisi e risultati più semplicemente identificabili.

La standardizzazione dell'applicazione della FMEA sarà anche resa possibile grazie all'interfacciamento e collaborazione con i colleghi tedeschi, i quali hanno già redatto delle procedure interne riguardanti sia la gestione del progetto, sia in termini di Project team e responsabilità delle persone ed enti coinvolti, sia per quanto concerne la schedulazione e l'analisi dello stesso. Al fine di rendere maggiormente efficiente l'applicazione della FMEA verranno coinvolti anche altri reparti di Verind S.p.A., a partire dalla sezione APT Proposal&Sales.

## 9 Appendice A

Di seguito sono riportate le schede FMEA relative al progetto di Revamping della Linea Primer dello Stabilimento di SATA Melfi; come precedentemente esposto nelle schede non stati trascritte tutte le analisi eseguite, così come non sono esplicitamente indicati tutti i possibili modi di guasto presi in considerazione dal team, bensì si è deciso di trascrivere solamente i più significativi.

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Smantellamenti Meccanici + Elettrici					Resp.							FEMA n°	Smart.	
Project	2720741 – SATA Melfi Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	RPN
Smantellamento meccanico vecchio impianto	Impossibile avvio lavori	Ritardo	10	No permesso taglio		Non disponibile									
	Criterio recupero non rispettato	Dividere materiale a posteriori	5	Elenco materiale non completo	6	Verifica con FIAT	4	120	Verifica anche con SATA	PM+SM		5	2	1	10
	Stima iniziale tempi errata	Ritardo completamento lavori	8	Sopralluogo non accurato	4	Sopralluogo congiunto	4	128	Controllo durate "storiche"	PM		8	1	1	8
	Danneggiamento struttura permanente	Riparazione danni struttura permanente (extra time)	10	Errore umano	4	Supervisione SM	4	160	Usare personale con esperienza			10	2	1	20
		Riparazione danni struttura permanente (extra cost)	10	Errore umano	4	Supervisione SM	4	160	Usare personale con esperienza			10	2	1	20
	Smantellamento incompleto	Doppio intervento (extra time)	5	Specifica tecnica/ordine incompleti	6	Verifica on site	4	120	Controllo smantellamenti "storici"	PM		5	3	2	30
		Doppio intervento (extra cost)	5	Specifica tecnica/ordine incompleti	6	Verifica on site	4	120	Controllo smantellamenti "storici"	PM		5	3	2	30

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Smantellamenti Meccanici + Elettrici					Resp.							FEMA n°	Smart.	
Project	2720741 – SATA Melfi Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Smantellamento incompleto	Doppio intervento (extra time)	4	Dimenticanza parti	2	Verifica on site	2	16							
		Doppio intervento (extra cost)	4	Dimenticanza parti	2	Verifica on site	2	16							
Smantellamento elettrico vecchio impianto	Impossibile avvio lavori	Ritardo	10	Potenza elettrica non disinserita		Non disponibile									
	Stima iniziale tempi errata	Ritardo completamento lavori	8	Sopralluogo non accurato	4	Sopralluogo congiunto	4	128	Controllo durate "storiche"	PM		8	1	1	8
	Impossibile completamento (canaline interno cabina)	Ritardo	10	No permesso taglio		Non disponibile									
	Smantellamento incompleto	Doppio intervento (extra time)	5	Specifica tecnica/ordine incompleti	6	Verifica on site	4	120	Controllo smantellamenti "storici"	PM		4	3	2	24
		Doppio intervento (extra cost)	5	Specifica tecnica/ordine incompleti	6	Verifica on site	4	120	Controllo smantellamenti "storici"	PM		4	3	2	24

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Smantellamenti Meccanici + Elettrici					Resp.							FEMA n°	Smart.	
Project	2720741 – SATA Melfi Bicolor					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Smantellamento incompleto	Doppio intervento (extra time)	4	Dimenticanza parti	2	Verifica on site	2	16							
		Doppio intervento (extra cost)	4	Dimenticanza parti	2	Verifica on site	2	16							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Convogliatore					Resp.							FEMA n°	Convogliatore	
Project	2720741 - SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Occ	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Convogliatore	Non Disponibile	No sistema trasporto Robot Primer		Lavori in corso		Non disponibile									
		No sistema trasporto Robot Bicolor		Lavori in corso		Non disponibile									
		No Dry Commissioning (Interlock checks)		Lavori in corso		Non disponibile									
	Non in configurazione Finale	Doppio Intervento TG		Lavori in corso		Non disponibile									
		VTCP troppo veloci		Lavori in corso		Non disponibile									
Interblocchi	Predisposizione non a standard Durr	Predisposizione manuale in itinere	3	Non eseguito aggiornamento	8	Verifica on site	5	120	Coordinamento con	SM		3	2	2	12
Master Linea	Program. errata	Impossibile gestione automatica		Errata revisione	3	Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Modifiche cabina – Rinforzi + Supporti					Resp.							FEMA n°	Mod. Cabina	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Rinforzi per supporti Robot Primer	Progettazione errata	Vibrazioni cabina	8	Specifiche robot ricevute errate	6	Confronto con altri progetti	8	384	Verifica specifiche con Dürr	PM+Supplier		8	2	3	48
			8	Specifiche robot trasmesse errate	6	Confronto con altri progetti	8	384	Verifica specifiche con Dürr	PM+Supplier		8	2	3	48
									Verifica relazioni di calcolo	PM		8	1	2	16
	Materiali errati	Impossibilità di installare	6	Errore spedizione/fornitura	2	Expedating	2	24							
	Installazione errata	Smantellare e rimontare (extra time)	8	Struttura legata a cabina	3	Supervisione on site	4	96	Verifica progetto			8	1	2	16
	Ritardo inizio lavori	Ritardo	9	No disponibilità sottocabina		<b>Non disponibile</b>									
	Posizionamento errato	Supporti non idonei	10	Lay-out errato	2	Sopralluogo con Cliente e Fornitore	2	40							
Documentazione dei Rapporti di Calcolo	Ritardo validazione progetto	Ritardo inizio installazione	7	Documenti non secondo standard richiesto da Cliente	4	Verifica prima di inoltrare a cliente	5	140	Trasmissione standard richiesto	ACQ		7	2	1	14

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Modifiche cabina – Rinforzi + Supporti					Resp.							FEMA n°	Mod. Cabina	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Documentazione dei Rapporti di Calcolo	Ritardo validazione progetto	Ritardo inizio installazione	7	Ritardo consegna documentazione a Cliente	4	Expedating	3	84	Improve expedating	ACQ		7	2	1	14
Copertura Cabinet	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
Tubazioni Purge	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
Protezione basamenti Robot Primer	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Modifiche cabina – Rinforzi + Supporti					Resp.							FEMA n°	Mod. Cabina	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Rinforzi per supporti Robot Bicolor	Progettazione errata	Vibrazioni cabina	8	Specifiche robot ricevute errate	6	Confronto con altri progetti	8	384	Verifica specifiche con Dürr	PM+Supplier		8	2	3	48
			8	Specifiche robot trasmesse errate	6	Confronto con altri progetti	8	384	Verifica specifiche con Dürr	PM+Supplier		8	2	3	48
									Verifica relazioni di calcolo	PM		8	1	2	16
	Materiali errati	Impossibilità di installare	6	Errore spedizione/fornitura	2	Expedating	2	24							
	Installazione errata	Smantellare e rimontare (extra time)	8	Struttura legata a cabina	3	Supervisione on site	4	96	Verifica progetto			8	1	2	16
	Ritardo inizio lavori	Ritardo	9	No disponibilità sottocabina		<b>Non disponibile</b>									
	Posizionamento errato	Supporti non idonei	10	Lay-out errato	2	Sopralluogo con Cliente e Fornitore	2	40							
Documentazione dei Rapporti di Calcolo	Ritardo validazione progetto	Ritardo inizio installazione	7	Documenti non secondo standard richiesto da Cliente	4	Verifica prima di inoltrare a cliente	5	140	Trasmissione standard richiesto	ACQ		7	2	1	14

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Modifiche cabina – Rinforzi + Supporti					Resp.							FEMA n°	Mod. Cabina	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	4	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Documentazione dei Rapporti di Calcolo	Ritardo validazione progetto	Ritardo inizio installazione	7	Ritardo consegna documentazione a Cliente	4	Expedating	3	84	Improve expedating	ACQ		7	2	1	14
Copertura Cabinet	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
Tubazioni Purge	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
Protezione basamenti Robot Bicolor	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Pulizie di azzeramento cabina					Resp.							FEMA n°	Pulizie	
Project	2720741 - SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Pulizie azzeramento Cabina	Impossibilità di esecuzione	Ritardo Inizio Lavori	10	Ritardo Smantellamenti		Non disponibile									
	No Permesso Taglio/Saldatura	Ritardo Inizio Lavori	10	Pulizie non Eseguite		Non disponibile									
		Ritardo Inizio Lavori	10	Pulizie non Adeguate		Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Verifica completezza+correttezza spedizione					Resp.							FEMA n°	Spediz. Dürr	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Cavi elettrici	Lunghezze errate	Ritardo cablaggi	10	Errore di calcolo		Non disponibile									
		Ritardo cablaggi	10	Lay-out errati	5	Sopralluogo in cantiere	2	100	Secondo sopralluogo			10	2	2	40
		Ritardo cablaggi	10	Errore di spedizione	8	-	10	800	Verifica in BiBi			10	2	2	40
Sensori (muting)	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
Sensori (Data check)	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
Sensori (sicurezza)	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
Barriere luminose	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
Encoder	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
Variozell	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
	Errati	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
Cabinet	No spazio per cavi	Dimensioni errate rialzi	5	Errore di spedizione	2	-	10	100	Verifica in BiBi			5	1	1	5
			5	Errore di montaggio	2	-	10	100	Verifica in BiBi			5	1	1	5

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Verifica completezza+correttezza spedizione					Resp.							FEMA n°	Spediz. Dürr	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
PHG	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
		Ritardo installazione	8	Errore ordinazione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
Bell Cleaner	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
		Ritardo installazione	8	Errore ordinazione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
Bell Tester	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32
		Ritardo installazione	8	Errore ordinazione	8	-	10	640	Verifica in BiBi			8	2	2	32

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Circolatori + stacchi valvolati + Dorsale Aria					Resp.							FEMA n°		
Project	2720741 - SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Collegamenti Pneumatici St. Primer	No Sufficiente Pressione	NO DRY	10	Errate trasmissione delle specifiche		Non disponibile									
		NO DRY	10	Errata Progettazione		Non disponibile									
		NO DRY	10	Perdite lungo linea		Non disponibile									
		NO DRY	10	Errata installazione valvole/raccordi collegamento		Non disponibile									
		NO DRY	10	Pompe non Funzionanti		Non disponibile									
	No Sufficiente Pressione	NO WET	10	Perdite lungo linea		Non disponibile									
		NO WET	10	Pompe non Funzionanti		Non disponibile									
		NO WET		Errata Progettazione		Non disponibile									
		NO WET		Errata installazione valvole/raccordi		Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Pulizie di azzeramento cabina					Resp.							FEMA n°	Pulizie	
Project	2720741 – SATA Melfi Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Collegamenti Pneumatici St. BICOLOR	No Sufficiente Pressione	NO DRY	10	Errate trasmissione delle specifiche		Non disponibile									
		NO DRY	10	Errata Progettazione		Non disponibile									
		NO DRY	10	Perdite lungo linea		Non disponibile									
		NO DRY	10	Errata installazione valvole/raccordi collegamento		Non disponibile									
		NO DRY	10	Pompe non Funzionanti		Non disponibile									
	No Sufficiente Pressione	NO WET	10	Perdite lungo linea		Non disponibile									
Collegamenti Pneumatici St. BICOLOR	No Sufficiente Pressione	NO WET	10	Pompe non Funzionanti		Non disponibile									
Collegamentocentrale vernici – stazionerobot BICOLOR	No Disp. Vernici	NO WET		Errate trasmissione delle specifiche		Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Pulizie di azzeramento cabina					Resp.							FEMA n°	Pulizie	
Project	2720741 – SATA Melfi Bicolor					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Collegamentocentrale vernici – stazionerobot BICOLOR	No Disp. Vernici	NO WET		Errata Progettazione		Non disponibile									
		NO WET		Errata installazione valvole/raccordi		Non disponibile									
		NO WET		Incompleta pulizia Circolatori		Non disponibile									
		NO WET		Centrale Vernici Vuota o Insuff. Portat		Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione Meccanica/pneumatica					Resp.						FEMA n°	Inst. Mecc		
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared						Page	1		
Team						Approved						Date			
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Trasporto Robot	Impossibilità trasporto in cabina			No disponibilità Convogliatore					Vedere FMEA Convogliatore						
	Tragitto	Extra time	4	Percorso non approvato	2	Condivisione con Stabilimento	1	8							
Disp. CTA	Non accessibile	Extra time	7	Lavori in corso	5	Non disponibile									
	Accessibile ma non resistente	Extra time	8	Strutture non rinforzate/rinforzabili	2	Sopralluogo in cantiere	3	48							
		Extra risorse	8	Strutture non rinforzate/rinforzabili	2	Sopralluogo in cantiere	3	48							
Ispezione durante posiz.	Fermo lavori	Extra time	8	Mancato rispetto normative sicurezza	5	Supervisione	3	120	Supervisione	SM + Fornitore		8			
	Ispezioni più frequenti, criticità rapporti	Notifica presso Ufficio competente	2	Mancato rispetto normative sicurezza	3	Supervisione	2	12							
Inst. modifiche Bell cl	Impossibilità di installazione	Extra time installazione		Componenti spediti errati					Vedere FMEA Verifica_Spedizione						

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Installazione Meccanica/pneumatica					Resp.							FEMA n°	Inst. Mecc	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Impossibilità di installazione	Impossibile avvio impianto	9	Progettazione modifiche errata	5	Supervisione disegni	2	90							
	Impossibilità di installazione	Extra time installazione	9	Esecuzione modifiche errata	5	Supervisione on site	2								
	Impossibilità di installazione	Extra time installazione	9	No disponibilità sottocabina	2	Verifica on site	1	18							
Posiz. MVS	Impossibilità posiz.	Modifiche clear room impreviste	9	Rilevazione dimensioni errata	3	Verifica on site	3	81							
		Imp. Coll. robot	10	Posizionamento non a specifica											
		Rifacimento layout e docu.	2	Disegno errato	2	Verifica on site	2	8							
Collegamenti MVS	Eccessiva distanza da Robot	No pressione al robot	10	Errato lay-out	6	Verifica on site	2	120	Vedere FMEA						
Installazione CO <sub>2</sub>	Impossibilità di installazione	Impossibilità avvio impianto	9	Personale senza permessi ingresso Stabilimento	6	Allineamenti ACQ	3	162	Prev. personale già abilitato			9	4	2	7 2

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Installazione Meccanica/pneumatica					Resp.							FEMA n°	Inst. Mecc	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Installazione CO <sub>2</sub>	Certificazione mancante o errata	Ritardo accettazione finale	9	Certificazione mancante o errata	2	Controllo del SM	2	36							
Moviment. "Varia"	Rottura	Impossibilità di montaggio	10	Caduta	3	Cautela	9	180	Fissaggio su muletti			10	1	6	60
		Impossibilità di montaggio	10	Forzamenti	3	Cautela	9	180	Ver. pos. corretta layout			10	1	6	60
	Danni a struttura permanente	Ripristino struttura	7	Caduta componenti	2	Controllo Pre-mov.	2	28							
			7	Mancata protezione preventiva delle sup.	3	Controllo Pre-mov.	2	42							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Posizionamento Cabinet piano +5700	Impossibile posiz.	Rifare lay out	3	Spazio insufficiente	1	Verifica on site	1	3							
		Ricalcolo lung. cavi	10	Spazio insufficiente	1	Verifica on site	1	10							
Moviment. "Varia"	Rottura	Impossibilità di montaggio	10	Caduta	3	Cautela	9	180	Fissaggio su muletti			10	1	6	60
		Impossibilità di montaggio	10	Forzamenti	3	Cautela	9	180	Ver. pos. corretta layout			10	1	6	60
	Danni a struttura permanente	Ripristino struttura	7	Caduta componenti	2	Controllo Pre-mov.	2	28							
			7	Mancata protezione preventiva delle sup.	3	Controllo Pre-mov.	2	42							
Canaline	Passaggio canaline impraticabile	Riprogettazione Layout	8	Spazi già impegnati canaline "altrui"	4	Verifica on site	2	64							
		Acquisto extra materiale	2	Spazi già impegnati canaline "altrui"	4	Verifica on site	2	16							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Canaline	Passaggio canaline impraticabile	Ricalcolo lunghezze cavi	9	Impossibile usare passaggi a progetto	5	Verifica on site	2	90							
			10	Soletta soffitto non tagliabile	6	Verifica on site	6	360	Verifica Sezioni Stabilimento	SM		10	2	2	40
			10	Soletta soffitto non tagliabile	6	Verifica on site	6	360	Lay out alternativo	PM		10	2	2	40
Cablaggio Robot	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Cablaggio cabinet	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
Cablaggio sicurezze	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	4	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5	Verifica on site	2	100	Verifica			10	2	1	20
		Attraversamento cabina non praticabile	10	Layout errato	5	Verifica on site	2	100	Verifica			10	2	1	20
		Materiale mancante per attraversamento		Vedere FMEA verifica materiali											
Collegamenti interblocchi	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	5	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	PLC non programmato	Riprogramm. PLC	8	Standard differenti	8	Verifica docu. preliminari	5	320	Verifica docu.			8	4	1	32
		Modifica installazione	5	Standard differenti	8	Verifica docu. preliminari	5	200	Verifica docu.			5	4	1	20
Installazione ATEX				Vedere FMEA verifica materiali											
Allacciamento potenza	Impossibile dare potenza	Ritardo avvio commissioing	10	Errati calcoli per blindosbarra	5	Verifica prog.	1	50							
			10	Errata fornitura componenti	5	Verifica prog.	1	50							
Cablaggio Safety Comp.	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	6	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5	Verifica on site	2	100	Verifica			10	2	1	20
		Attraversamento cabina non praticabile	10	Layout errato	5	Verifica on site	2	100	Verifica			10	2	1	20
		Materiale mancante per attraversamento		Vedere FMEA verifica materiali											

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	DRY Commissioning					Resp.							FEMA n°	DRY	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
I/O Check	No potenza elettrica	Rifare cablaggi		Cablaggi errati/sottodimensionati		Vedere FMEA inst. el.									
Verifica Interlock				PLC non adeguato		Vedere FMEA inst. el.									
				Cablaggi errati		Vedere FMEA inst. el.									
Verifica convogliatore		No controllo master linea		Convogliatore non disponibile		Vedere FMEA convogliatore									
				Cablaggi sistemi gestione errati		Vedere FMEA inst. el.									
Niveling	Impossibile misurazioni	Extra time		Mancanza di scocche "processabili"		Non disponibile									
	Impossibile misurazioni	Extra time		Mancanza operatore certificato/qualificato		Non disponibile									
	Collisioni robot	Extra time		Programmi di base errati		Non disponibile									
		Extra time		Posizionamenti robot errati		Vedere FMEA inst. mecc.									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	DRY Commissioning					Resp.							FEMA n°	DRY	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Ghost mode	No potenza elettrica	Extra time		Cablaggi errati/sottodimensionati		Vedere FMEA inst. el.									
	Collisioni robot	Extra time	10	Programmi di base errati	6	Non disponibile									
	Collisioni robot	Extra time	10	Programmi di degrade errati	6	Non disponibile									
	Impossibile avviamento	Extra time	10	Mancanza operatore certificato/qualificato	1	Gestione risorse	1	10							
	Collisione robot	Sostituzione componenti	10	Manual functions errati/non controllati	3	Cautela	2	60							
		Stop stazione e riavvio completo	10	Manual functions errati/non controllati	5	Cautela	2	100	Verifica preliminare in off-line			10	3	1	30

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	WET Comm + Teach-mode + Effic. Tecnica					Resp.							FEMA n°	WET	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Air check	No aria in pressione	Extra time		Vedere FMEA											
Paint check	No disponibilità vernici	Extra time		Vedere FMEA											
Solvent check	No disponibilità solvente	Extra time		Vedere FMEA											
Ghost mode (WET)	No aria in pressione	Extra time		Vedere FMEA											
	No disponibilità vernici	Extra time		Vedere FMEA											
	No disponibilità solvente	Extra time		Vedere FMEA											
	No convogliatore	Extra time		Vedere FMEA Convogliatore											
Verifica verniciatura intera scocca	Programm. base errate	Ri-progra.	10	Degrade mode errati	8	-	10	800	Verifica prog con pre-comm			10	4	2	80
	Programm. degrade errate	Ri-progra.	10	Degrade mode errati	8	-	10	800	Verifica prog con pre-comm			10	4	2	80
Teaching mode	Impossibile ottimizzazione	Extra time	10	Scocche non disponibili	9	Non disponibile									
			10	Colori non disponibili	9	Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	WET Comm + Teach-mode + Effic. Tecnica					Resp.							FEMA n°	WET	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Impossibile verniciatura completa	Riprogra.	10	Zone non raggiungibili	7	-	10	700	Pre-comm. In BiBi			10	3	2	60
		Necessità di prolunghe robot	10	Zone non raggiungibili	7	-	10	700	Pre-comm. In BiBi			10	3	2	60
		Modifica velocità convogliatore	10	Zone non raggiungibili	7	-	10	700	Pre-comm. In BiBi			10	3	2	60
		Ri-taratura sensori	7	Posizionamento scocche non corretto	3	Proximity	3	63							
	Verniciatura non a STD richiesto	No Job 1	10	Vernici non secondo STD richiesto	8	Non disponibile									
		No Job 1	10	Pressione aria non a STD richiesto	8	Non disponibile									
		No Job 1	10	Umidità aria non a STD richiesto	8	Non disponibile									
Efficienza tecnica	Impossibile avvio/esecuzioni	Extra time	10	Scocche non disponibili	9	Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	WET Comm + Teach-mode + Effic. Tecnica					Resp.							FEMA n°	WET	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
			10	Colori non disponibili	9	Non disponibile									
	Turni non consecutivi	Extra time	3	Cassa Integr. FIAT	6	Non disponibile									
	Turni non consecutivi	Extra cost	3	Cassa Integr. FIAT	6	Non disponibile									
	Verniciatura non a STD richiesto	Test non valido	10	Vernici non secondo STD richiesto	8	Non disponibile									
		Test non valido	10	Pressione aria non a STD richiesto	8	Non disponibile									
		Test non valido	10	Umidità aria non a STD richiesto	8	Non disponibile									
	Verniciatura superfici non completa	Test non superato	9	Posizionamento scocche non corretto	2	Proximity	2	36							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Documentazione					Resp.							FEMA n°	Docu	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
WCM	Non suff	Documentazione incompleta	8	Richiesta di docu richiesta ampliata in itinere	6	Confronto forniture precedenti	6	288	Stesura contratto più completa	Comm		8	4	2	64
	Fornitura AM	STD cliente non rispettati	8	Mai forniti in precedenza	3	Confronto con forniture simili	7	168	Definire STD condiviso	UT		8	1	1	8
	Certificazioni non secondo normative in vigore	Non accettate	10	Fornitore non a conoscenza della normativa Italiana (fornitore esteri)	1	Specifiche tecniche	1	10							
	Certificazioni non in lingua italiana	Non accettate	10	Fornitore non a conoscenza della richiesta (fornitore esteri)	1	Specifiche tecniche	1	10							
	Certificazioni non in originale	Non accettate	10	Fornitore non consegna copia originale	2	Al ricevimento	1	20							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Final Acceptance + Assistenza					Resp.							FEMA n°	FAC+ASS	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Accettazione Finale	No accettazione	Rinvio pagamenti	10	Non consegnata documentazione impianto	8	Verifica doc.	2	160	Anticipare consegna doc. preliminare	PM		10	3	1	30
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo prodotto	2	Verifica on site	2	40	Verifica						
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo solvente	2	Verifica on site	2	40							
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo aria	2	Verifica on site	2	40							
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti STD di verniciatura (qualità)	2	Verifica on site	2	40							
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti STD di verniciatura (tempo ciclo)	3	Verifica on site	2	60							
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti STD di pulizia (tempo ciclo)	3	Verifica on site	2	60							
		Rinvio pagamenti	10	Non chiuse EPA I liv.	4	Verifica on site + PM	3	120	Expediting EPA	PM+SM		10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Final Acceptance + Assistenza					Resp.							FEMA n°	FAC+ASS	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Rinvio pagamenti	10	Incompleto mont. Mecc. (coperture cabinet)	2	Verifica on site	1	20							
Accettazione Finale	No accettazione	Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non consegnata documentazione impianto	8	Verifica doc.	2	160	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo prodotto	4	Verifica on site	2	80	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo solvente	4	Verifica on site	2	80	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo aria	4	Verifica on site	2	80	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti STD di verniciatura (qualità)	2	Verifica on site	2	40	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti STD di verniciatura (tempo ciclo)	3	Verifica on site	2	60	Non applicabile						

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Final Acceptance + Assistenza					Resp.							FEMA n°	FAC+ASS	
Project	2720741 – SATA Primer Bicolor					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti STD di pulizia (tempo ciclo)	3	Verifica on site	2	60	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non chiuse EPA I liv.	4	Verifica on site + PM	3	120	Non applicabile						
Assistenza produzione	Colori non disponibili	Presenza prolungata on site	5	Vedere FMEA											
	Pressione aria non suff.	Presenza prolungata on site	5	Vedere FMEA											
	No produzione	Presenza prolungata on site	5	-	6	Non disponibile									
	No produzione	Presenza prolungata on site	5	Mancanza scocche necessarie	6	Non disponibile									

## 10 Appendice B

Di seguito sono riportate le schede FMEA relative al progetto di Revamping della Linee Base Interni 1 e 2 dello Stabilimento di SATA Melfi; come precedentemente esposto nelle schede non stati trascritte tutte le analisi eseguite, così come non sono esplicitamente indicati tutti i possibili modi di guasto presi in considerazione dal team, bensì si è deciso di trascrivere solamente i più significativi.

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Smantellamenti Meccanici + Elettrici Robot					Resp.							FEMA n°	Smart.	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Smantellamento meccanico vecchio impianto	Impossibile avvio lavori	Ritardo	10	No permesso taglio		Non disponibile									
	Criterio recupero non rispettato	Dividere materiale a posteriori	3	Elenco materiale non completo	6	Verifica con FIAT	2	36	Verifica anche con SATA	PM+SM		3	2	1	6
	Stima iniziale tempi errata	Ritardo completamento lavori	8	Sopralluogo non accurato	3	Sopralluogo congiunto	3	72	Controllo durate "storiche"	PM		8	1	1	8
	Danneggiamento struttura permanente	Riparazione danni struttura permanente (extra time)	10	Errore umano	4	Supervisione SM	4	160	Usare personale con esperienza			10	2	1	20
		Riparazione danni struttura permanente (extra cost)	10	Errore umano	4	Supervisione SM	4	160	Usare personale con esperienza			10	2	1	20
	Smantellamento incompleto	Doppio intervento (extra time)	4	Specifica tecnica/ordine incompleti	6	Verifica on site	4	96	Controllo smantellamenti "storici"	PM		4	3	2	24
		Doppio intervento (extra cost)	4	Specifica tecnica/ordine incompleti	6	Verifica on site	4	96	Controllo smantellamenti "storici"	PM		4	3	2	24

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Smantellamenti Meccanici + Elettrici Robot					Resp.							FEMA n°	Smart.	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Smantellamento incompleto	Doppio intervento (extra time)	4	Dimenticanza parti	2	Verifica on site	2	16							
		Doppio intervento (extra cost)	4	Dimenticanza parti	2	Verifica on site	2	16							
Smantellamento elettrico vecchio impianto	Impossibile avvio lavori	Ritardo	10	Potenza elettrica non disinserita		Non disponibile									
	Stima iniziale tempi errata	Ritardo completamento lavori	8	Sopralluogo non accurato	3	Sopralluogo congiunto	3	72	Controllo durate "storiche"	PM		8	1	1	8
	Impossibile completamento (canaline interno cabina)	Ritardo	10	No permesso taglio		Non disponibile									
	Smantellamento incompleto	Doppio intervento (extra time)	4	Specifica tecnica/ordine incompleti	6	Verifica on site	4	96	Controllo smantellamenti "storici"	PM		4	3	2	24
		Doppio intervento (extra cost)	4	Specifica tecnica/ordine incompleti	6	Verifica on site	4	96	Controllo smantellamenti "storici"	PM		4	3	2	24

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Smantellamenti Meccanici + Elettrici Robot					Resp.							FEMA n°	Smart.	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Smantellamento incompleto	Doppio intervento (extra time)	4	Dimenticanza parti	2	Verifica on site	2	16							
		Doppio intervento (extra cost)	4	Dimenticanza parti	2	Verifica on site	2	16							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)																
Item	Convogliatore					Resp.							FEMA n°	Convogliatore		
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1		
Team						Approved							Date			
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN	
Convogliatore	Non Disponibile	No sist. trasp. Robot L1	8	Lavori in corso		Non disponibile										
		No sist. trasp. trasporto Robot L2	8	Lavori in corso		Non disponibile										
		No Dry Commissioning (Interlock checks)	10	Lavori in corso		Non disponibile										
	Non in configurazione Finale	Doppio Intervento	7	Lavori in corso		Non disponibile										
		VTCP troppo veloci	1	Lavori in corso		Non disponibile										
Skid	Non revisionati	Impossibile montaggio scocche	10	Ritardo fornitore	7	Non disponibile										
	Revisionati ma in modo errato	Impossibile montaggio scocche	10	Ritardo fornitore	7	Non disponibile										
	Disegni a Verind diversi da skid finali	Programmazioni robot non corrette	7	Rev. skid non comunicata	9	Non disponibile										

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Modifiche cabina – Rinforzi + Supporti					Resp.							FEMA n°	Mod. Cabina	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Rinforzi per supporti Robot Primer	Progettazione errata	Vibrazioni cabina	8	Specifiche robot ricevute errate	6	Confronto con altri progetti	8	384	Verifica specifiche con Dürr	PM+Supplier		8	2	3	48
			8	Specifiche robot trasmesse errate	6	Confronto con altri progetti	8	384	Verifica specifiche con Dürr	PM+Supplier		8	2	3	48
									Verifica relazioni di calcolo	PM		8	1	2	16
	Materiali errati	Impossibilità di installare	6	Errore spedizione/fornitura	2	Expedating	2	24							
	Installazione errata	Smantellare e rimontare (extra time)	8	Struttura legata a cabina	4	Supervisione on site	4	128	Verifica progetto			8	1	2	16
	Ritardo inizio lavori	Ritardo	9	No disponibilità sottocabina		<b>Non disponibile</b>									
	Posizionamento errato	Supporti non idonei	10	Lay-out errato	2	Sopralluogo con Cliente e Fornitore	2	40							
Documentazione dei Rapporti di Calcolo	Ritardo validazione progetto	Ritardo inizio installazione	7	Documenti non secondo standard richiesto da Cliente	4	Verifica prima di inoltrare a cliente	5	140	Trasmissione standard richiesto	ACQ		7	2	1	14

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Modifiche cabina – Rinforzi + Supporti					Resp.							FEMA n°	Mod. Cabina	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Documentazione dei Rapporti di Calcolo	Ritardo validazione progetto	Ritardo inizio installazione	7	Ritardo consegna documentazione a Cliente	4	Expedating	3	84	Improve expedating	ACQ		7	2	1	14
Tubazioni Purge	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
Protezione basamenti Manipolatori	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			8	Specifiche robot trasmesse errate	6	Confronto con altri progetti	8	384	Verifica specifiche con Dürr	PM+Supplier		8	2	3	48
									Verifica relazioni di calcolo	PM		8	1	2	16

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Modifiche cabina – Rinforzi + Supporti					Resp.							FEMA n°	Mod. Cabina	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Materiali errati	Impossibilità di installare	6	Errore spedizione/fornitura	2	Expedating	2	24							
	Installazione errata	Smantellare e rimontare (extra time)	8	Struttura legata a cabina	3	Supervisione on site	4	96	Verifica progetto			8	1	2	16
	Ritardo inizio lavori	Ritardo	9	No disponibilità sottocabina		Non disponibile									
	Posizionamento errato	Supporti non idonei	10	Lay-out errato	2	Sopralluogo con Cliente e Fornitore	2	40							
Documentazione dei Rapporti di Calcolo	Ritardo validazione progetto	Ritardo inizio installazione	7	Documenti non secondo standard richiesto da Cliente	4	Verifica prima di inoltrare a cliente	5	140	Trasmissione standard richiesto	ACQ		7	2	1	14
Documentazione dei Rapporti di Calcolo	Ritardo validazione progetto	Ritardo inizio installazione	7	Ritardo consegna documentazione a Cliente	4	Expedating	3	84	Improve expedating	ACQ		7	2	1	14
Copertura Cabinet	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Modifiche cabina – Rinforzi + Supporti					Resp.							FEMA n°	Mod. Cabina	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	4	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Tubazioni Purge	Materiale sbagliato	Rifare installazione	2	Errore specifiche da Cliente	2	Confronto vecchi progetti	2	8							
			2	Errore specifiche a Fornitore	2	Confronto vecchi progetti	2	8							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Pulizie di azzeramento cabina					Resp.							FEMA n°	Pulizie	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Pulizie azzeramento Cabina	Impossibilità di esecuzione	Ritardo Inizio Lavori	10	Ritardo Smantellamenti		Non disponibile									
	No Permesso Taglio/Saldatura	Ritardo Inizio Lavori	10	Pulizie non Eseguite		Non disponibile									
		Ritardo Inizio Lavori	10	Pulizie non Adeguate		Non disponibile									
Pulizie fine smantellamenti	Insuff. Che non permettono avvio montaggi	Ritardo montaggi	10	Mancanza attrezzatura	2	Verifica on site	2	40							
			10	Mancanza personale	2	Verifica on site	2	40							
Pulizie fine montaggi mecc.	Insuff. Che non permettono avvio montaggi	Ritardo montaggi	10	Mancanza attrezzatura	2	Verifica on site	2	40							
			10	Mancanza personale	2	Verifica on site	2	40							
Pulizie fine montaggi el.	Insuff. Che non permettono avvio montaggi	Ritardo montaggi	10	Mancanza attrezzatura	2	Verifica on site	2	40							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Pulizie di azzeramento cabina					Resp.							FEMA n°	Pulizie	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Pulizie fine montaggi mecc. emu	Insuff. Che non permettono avvio montaggi	Ritardo montaggi	10	Mancanza attrezzatura	2	Verifica on site	2	40							
			10	Mancanza personale	2	Verifica on site	2	40							
Pulizie fine montaggi el. emu	Insuff. Che non permettono avvio montaggi	Ritardo montaggi	10	Mancanza attrezzatura	2	Verifica on site	2	40							
			10	Mancanza personale	2	Verifica on site	2	40							
Pulizie fine montaggi mecc. blower	Insuff. Che non permettono avvio montaggi	Ritardo montaggi	10	Mancanza attrezzatura	2	Verifica on site	2	40							
			10	Mancanza personale	2	Verifica on site	2	40							
Pulizie fine montaggi el. blower	Insuff. Che non permettono avvio montaggi	Ritardo montaggi	10	Mancanza attrezzatura	2	Verifica on site	2	40							
			10	Mancanza personale	2	Verifica on site	2	40							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Verifica completezza+correttezza spedizione					Resp.							FEMA n°	Spediz. Dürr	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Cavi elettrici	Lunghezze errate	Ritardo cablaggi	10	Errore di calcolo		Non disponibile									
			10	Lay-out errati	5	Sopralluogo in cantiere	2	100	Secondo sopralluogo			10	2	2	40
			10	Errore di spedizione	8	-	10	800	Verifica pressii BiBi			10	2	2	40
Sensori (muting)	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressii BiBi			8	2	2	32
Sensori (Data check)	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressii BiBi			8	2	2	32
Sensori (sicurezza)	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressii BiBi			8	2	2	32
Barriere luminose	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressii BiBi			8	2	2	32
Encoder	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressii BiBi			8	2	2	32
Variozell	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressii BiBi			8	2	2	32
	Errati	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressii BiBi			8	2	2	32
Cabinet	Eseguire rialzi in cantiere	Dimensioni errate	5	Errore di spedizione	2	-	10	100							
			5	Errore di montaggio	2	-	10	100							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Verifica completezza+correttezza spedizione					Resp.							FEMA n°	Spediz. Dürr	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
PHG	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressi BiBi			8	2	2	32
			8	Errore ordinazione	8	-	10	640	Verifica pressi BiBi			8	2	2	32
Bell Cleaner	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressi BiBi			8	2	2	32
			8	Errore ordinazione	8	-	10	640	Verifica pressi BiBi			8	2	2	32
Bell Tester	Mancanti	Ritardo installazione	8	Errore di spedizione	8	-	10	640	Verifica pressi BiBi			8	2	2	32
			8	Errore ordinazione	8	-	10	640	Verifica pressi BiBi			8	2	2	32

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Circolatori + stacchi valvolati + Dorsale Aria					Resp.							FEMA n°	Dog-house + vernici	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Collegamenti Pneumatici Dog-house L1, L2	No Sufficiente Pressione	NO DRY	10	Errate trasmissione delle specifiche		Non disponibile									
		NO DRY	10	Errata Progettazione		Non disponibile									
		NO DRY	10	Perdite lungo linea		Non disponibile									
		NO DRY	10	Errata installazione valvole/raccordi collegamento		Non disponibile									
		NO DRY	10	Pompe non Funzionanti		Non disponibile									
	No Sufficiente Pressione	NO WET	10	Perdite lungo linea		Non disponibile									
		NO WET	10	Pompe non Funzionanti		Non disponibile									
		NO WET		Errata Progettazione		Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Circolatori + stacchi valvolati + Dorsale Aria					Resp.							FEMA n°	Dog-house + vernici	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		NO WET		Errata installazione valvole/raccordi		Non disponibile									
Collegamentocentrale vernici – stazionerobot	No Disp. Vernici	NO WET		Errate trasmissione delle specifiche		Non disponibile									
Coll. centrale vernici – L1,L2	No Disp. Vernici	NO WET		Errata Progettazione		Non disponibile									
		NO WET		Errata installazione valvole/raccordi		Non disponibile									
		NO WET		Incompleta pulizia Circolatori		Non disponibile									
		NO WET		Centrale Vernici Vuota o Insuff. Portat		Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione Meccanica/pneumatica					Resp.						FEMA n°	Inst. Mecc		
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared						Page	1		
Team						Approved						Date			
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Trasporto Robot	Impossibilità trasporto in cabina			No disponibilità Convogliatore					Vedere FMEA Convogliatore						
	Tragitto	Extra time	4	Percorso non approvato	2	Condivisione con Stabilimento	1	8							
Disp. "soffitto"	Non accessibile	Extra time	7	Lavori in corso	5	Non disponibile									
	Accessibile ma non resistente	Extra time	8	Strutture non rinforzate/rinforzabili	2	Sopralluogo in cantiere	3	48							
		Extra risorse	8	Strutture non rinforzate/rinforzabili	2	Sopralluogo in cantiere	3	48							
Ispezione durante posiz.	Fermo lavori	Extra time	8	Mancato rispetto normative sicurezza	5	Supervisione	3	120	Supervisione	SM		8	5	1	40
	Ispezioni più frequenti, criticità rapporti	Notifica presso Ufficio competente	2	Mancato rispetto normative sicurezza	3	Supervisione	2	12							
Inst. modifiche Bell CI	Impossibilità di installazione	Extra time installazione		Componenti spediti errati					Vedere FMEA Verifica_Spedizione						

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione Meccanica/pneumatica					Resp.							FEMA n°	Inst. Mecc	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Imp inst	Impossibile avvio impianto	9	Progettazione modifiche errata	5	Supervisione disegni	2	90							
	Imp inst	Extra time installazione	9	Esecuzione modifiche errata	5	Supervisione on site	2								
	Imp inst	Extra time installazione	9	No disponibilità sottocabina	2	Verifica on site	1	18							
	Tamponature incomplete	Impossibile avvio impianto	9	Sopralluogo cantiere non completo	5	Verifica con	3	135	Verifica lay-out + extra materiale	SM		9	3	2	54
Posiz. Dog-house	Impossibilità posiz.	Modifiche clear room impreviste	9	Rilevazione dimensioni errata	3	Verifica on site	3	81							
		Imp. Coll. robot	10	Posizionamento non a specifica											
		Rifacimento layout e docu.	2	Disegno errato	2	Verifica on site	2	8							
Moviment. "Varia"	Rottura	Impossibilità di montaggio	10	Caduta	3	Cautela	9	180	Supervisione + personale esperto			10	3	2	60
		Impossibilità di montaggio	10	Forzamenti	3	Cautela	9	180	Supervisione + personale esperto			10	3	2	60

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Installazione Meccanica/pneumatica					Resp.							FEMA n°	Inst. Mecc	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Danni struttura permanente	Ripristino struttura	7	Caduta componenti	2	Controllo Pre-mov.	2	28							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Posizionamento Cabinet piano +5400	Impossibile posiz.	Rifare lay out	3	Spazio insufficiente	1	Verifica on site	1	3							
		Ricalcolo lung. cavi	10	Spazio insufficiente	1	Verifica on site	1	10							
Moviment. "Varia"	Rottura	Impossibilità di montaggio	10	Caduta	3	Cautela	9	180							
		Impossibilità di montaggio	10	Forzamenti	3	Cautela	9	180							
	Danni a struttura permanente	Ripristino struttura	7	Caduta componenti	2	Controllo Pre-mov.	2	28							
			7	Mancata protezione preventiva delle sup.	3	Controllo Pre-mov.	2	42							
Canaline	Passaggio canaline impraticabile	Riprogettazione Layout	8	Spazi già impegnati canaline "altrui"	4	Verifica on site	2	64							
		Acquisto extra materiale	2	Spazi già impegnati canaline "altrui"	4	Verifica on site	2	16							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Canaline	Passaggio canaline impraticabile	Ricalcolo lunghezze cavi	9	Impossibile usare passaggi a progetto	5	Verifica on site	2	90							
			10	Soletta soffitto non tagliabile	6	Verifica on site	6	360	Verifica Sezioni Stabilimento	SM		10	2	2	40
			10	Soletta soffitto non tagliabile	6	Verifica on site	6	360	Lay out alternativo	PM		10	2	2	40
Cablaggio Robot	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Cablaggio cabinet	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout			2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
Cablaggio sicurezze	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	4	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5	Verifica on site	2	100	Verifica			10	2	1	20
		Attraversamento cabina non praticabile	10	Layout errato	5	Verifica on site	2	100	Verifica			10	2	1	20
		Materiale mancante per attraversamento		Vedere FMEA verifica materiali											
Collegamenti interblocchi	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	5	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	PLC non programmato	Riprogramm. PLC	8	Standard differenti	8	Verifica docu. preliminari	5	320	Verifica docu.			8	4	1	32
		Modifica installazione	5	Standard differenti	8	Verifica docu. preliminari	5	200	Verifica docu.			5	4	1	20
Installazione ATEX				Vedere FMEA verifica materiali											
Allacciamento potenza	Impossibile dare potenza	Ritardo avvio commissioing	10	Errati calcoli per blindosbarra	5	Verifica prog.	1	50							
			10	Errata fornitura componenti	5	Verifica prog.	1	50							
Cablaggio Safety Comp.	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Installazione elettrica					Resp.							FEMA n°	Inst. el	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	6	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5	Verifica on site	2	100	Verifica			10	2	1	20
		Attraversamento cabina non praticabile	10	Layout errato	5	Verifica on site	2	100	Verifica			10	2	1	20
		Materiale mancante per attraversamento		Vedere FMEA verifica materiali											
Cablaggi Dog-house	Lunghezze cavi errate (corti)	No collegare (troppo corti)	10	Errore di calcolo da layout	4	Verifica UT	2	80							
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	7	Errore di calcolo da layout	2	Verifica UT	2	28							
		No collegare (troppo corti)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20
		Non a specifica Durr (ok coll. no ricch.)	10	Errore posizionamento Layout	5		2	100	Verifica on site			10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	DRY Commissioning					Resp.							FEMA n°	DRY	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
I/O Check	No potenza elettrica	Rifare calbaggi		Cablaggi errati/sottodimensionati		Vedere FMEA inst. el.									
Verifica Interlock				PLC non adeguato		Vedere FMEA inst. el.									
				Cablaggi errati		Vedere FMEA inst. el.									
				Cablaggi sistemi gestione errati		Vedere FMEA inst. el.									
Niveling Robot vern	Impossibile misurazioni	Extra time		Mancanza di scocche "processabili"		Non disponibile									
	Impossibile misurazioni	Extra time		Mancanza operatore certificato/qualificato		Non disponibile									
	Collisioni robot	Extra time		Programmi di base errati		Non disponibile									
		Extra time		Posizionamenti robot errati		Vedere FMEA inst. mecc.									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	DRY Commissioning					Resp.							FEMA n°	DRY	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Ghost mode Robot vern	No potenza elettrica	Extra time		Cablaggi errati/sottodimensionati		Vedere FMEA inst. el.									
	Collisioni robot	Extra time	10	Programmi di base errati	6	Non disponibile									
	Collisioni robot	Extra time	10	Programmi di degrade errati	6	Non disponibile									
	Impossibile avviamento	Extra time	10	Mancanza operatore certificato/qualificato	1	Gestione risorse	1	10							
	Collisione robot	Sostituzione componenti	10	Manual functions errati/non controllati	3	Cautela	2	60							
		Stop stazione e riavvio completo	10	Manual functions errati/non controllati	5	Cautela	2	100							
Niveling Robot manip	Impossibile misurazioni	Extra time		Mancanza di scocche "processabili"		Non disponibile									
	Impossibile misurazioni	Extra time		Mancanza operatore certificato/qualificato		Non disponibile									
	Collisioni robot	Extra time		Programmi di base errati		Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	DRY Commissioning					Resp.							FEMA n°	DRY	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Extra time		Posizionamenti robot errati		Vedere FMEA inst. mecc.									
Ghost mode Robot manip	No potenza elettrica	Extra time		Cablaggi errati/sottodimensionati		Vedere FMEA inst. el.									
	Collisioni robot	Extra time	10	Programmi di base errati	6	Non disponibile									
	Collisioni robot	Extra time	10	Programmi di degrade errati	6	Non disponibile									
	Impossibile avviamento	Extra time	10	Mancanza operatore certificato/qualificato	1	Gestione risorse	1	10							
	Collisione robot	Sostituzione componenti	10	Manual functions errati/non controllati	3	Cautela	2	60							
		Stop stazione e riavvio completo	10	Manual functions errati/non controllati	5	Cautela	2	100							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	WET Comm + Teach-mode + Effic. Tecnica					Resp.							FEMA n°	WET	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Air check	No aria in pressione	Extra time													
Paint check	No disponibilità vernici	Extra time													
Solvent check	No disponibilità solvente	Extra time													
Ghost mode (WET)	No aria in pressione	Extra time													
	No disponibilità vernici	Extra time													
	No disponibilità solvente	Extra time													
	No convogliatore	Extra time													
Verifica verniciatura intera scocca	Programm. base errate	Ri-progra.	10	Degrade mode errati	8	-	10	800	Verifica prog con pre-comm			10	4	2	80
	Programm. degrade errate	Ri-progra.	10	Degrade mode errati	8	-	10	800	Verifica prog con pre-comm			10	4	2	80
Teaching mode	Impossibile ottimizzazione	Extra time	10	Scocche non disponibili	9	Non disponibile									
			10	Colori non disponibili	9	Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	WET Comm + Teach-mode + Effic. Tecnica					Resp.							FEMA n°	WET	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Impossibile verniciatura completa	Riprogra.	10	Zone non raggiungibili	7	-	10	700	Pre-comm. In BiBi			10	3	2	60
		Necessità di prolunghe robot	10	Zone non raggiungibili	7	-	10	700	Pre-comm. In BiBi			10	3	2	60
		Modifica velocità convogliatore	10	Zone non raggiungibili	7	-	10	700	Pre-comm. In BiBi			10	3	2	60
		Ri-taratura sensori	7	Posizionamento scocche non corretto	3	Proximity	3	63							
	Verniciatura non a STD richiesto	No Job 1	10	Vernici non secondo STD richiesto	8	Non disponibile									
		No Job 1	10	Pressione aria non a STD richiesto	8	Non disponibile									
		No Job 1	10	Umidità aria non a STD richiesto	8	Non disponibile									
Efficienza tecnica	Impossibile avvio/esecuzioni	Extra time	10	Scocche non disponibili	9	Non disponibile									

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	WET Comm + Teach-mode + Effic. Tecnica					Resp.								FEMA n°	WET
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared								Page	3
Team						Approved								Date	
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
			10	Colori non disponibili	9	Non disponibile									
	Turni non consecutivi	Extra time	3	Cassa Integr. FIAT	6	Non disponibile									
	Turni non consecutivi	Extra cost	3	Cassa Integr. FIAT	6	Non disponibile									
	Verniciatura non a STD richiesto	Test non valido	10	Vernici non secondo STD richiesto	8	Non disponibile									
		Test non valido	10	Pressione aria non a STD richiesto	8	Non disponibile									
		Test non valido	10	Umidità aria non a STD richiesto	8	Non disponibile									
	Verniciatura superfici non completa	Test non superato	9	Posizionamento scocche non corretto	2	Proximity	2	36							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Documentazione					Resp.							FEMA n°	Docu	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
WCM	Non suff	Documentazione incompleta	7	Richiesta di docu ampliata in itinere	5	Confronto forniture precedenti	5	175	Stesura contratto più completa	Comm		7	4	2	64
		STD cliente non rispettati	8	Mai forniti in precedenza	3	Confronto con forniture simili	6	144	Definire STD condiviso	UT		8	1	1	8
	Manipolatori	Documentazione incompleta	7	Richiesta di docu ampliata in itinere	5	Confronto forniture precedenti	5	175	Stesura contratto più completa	Comm		7	4	2	64
		STD cliente non rispettati	8	Mai forniti in precedenza	3	Confronto con forniture simili	6	144	Definire STD condiviso	UT		8	1	1	8
Normative	Certificazioni non secondo normative in vigore	Non accettate	10	Fornitore non a conoscenza della normativa Italiana (fornitore esteri)	1	Specifiche tecniche	1	10							
	Certificazioni non in lingua italiana	Non accettate	10	Fornitore non a conoscenza della richiesta (fornitore esteri)	1	Specifiche tecniche	1	10							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Documentazione					Resp.							FEMA n°	Docu	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
	Certificazioni non in originale	Non accettate	10	Fornitore non consegna copia originale	2	Al ricevimento	1	20							

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Final Acceptance + Assistenza					Resp.							FEMA n°	FAC+ASS	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Accettazione Finale	No accettazione	Rinvio pagamenti	10	Non consegnata documentazione impianto	8	Verifica doc.	2	160	Anticipare consegna doc. preliminare	PM		10	3	1	30
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo prodotto	2	Verifica on site	2	40	Verifica						
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo solvente	2	Verifica on site	2	40							
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo aria	2	Verifica on site	2	40							
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti STD di verniciatura (qualità)	2	Verifica on site	2	40							
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti STD di verniciatura (tempo ciclo)	3	Verifica on site	2	60							
		Rinvio pagamenti	10	Non soddisfatti STD di pulizia (tempo ciclo)	3	Verifica on site	2	60							
		Rinvio pagamenti	10	Non chiuse EPA I liv.	4	Verifica on site + PM	3	120	Expediting EPA	PM+SM		10	2	1	20

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Final Acceptance + Assistenza					Resp.							FEMA n°	FAC+ASS	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Rinvio pagamenti	10	Incompleto mont. Mecc. (coperture cabinet)	2	Verifica on site	1	20							
Accettazione Finale	No accettazione	Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non consegnata documentazione impianto	8	Verifica doc.	2	160	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo prodotto	4	Verifica on site	2	80	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo solvente	4	Verifica on site	2	80	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti i requisiti di consumo aria	4	Verifica on site	2	80	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti STD di verniciatura (qualità)	2	Verifica on site	2	40	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti STD di verniciatura (tempo ciclo)	3	Verifica on site	2	60	Non applicabile						

Failure Mode and Effects Analysis  
(FMEA)

Item	Final Acceptance + Assistenza					Resp.							FEMA n°	FAC+ASS	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Item Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non soddisfatti STD di pulizia (tempo ciclo)	3	Verifica on site	2	60	Non applicabile						
		Rinvio inizio Assistenza tecnica	10	Non chiuse EPA I liv.	4	Verifica on site + PM	3	120	Non applicabile						
Assistenza produzione	Colori non disponibili	Presenza prolungata on site	5	Vedere esempio FMEA Mevis											
	Pressione aria non suff.	Presenza prolungata on site	5	Vedere esempio FMEA Mevis											
	No produzione	Presenza prolungata on site	5	Cassa Integr. FIAT	6	Non disponibile									
	No produzione	Presenza prolungata on site	5	Mancanza scocche necessarie	6	Non disponibile									

## 11 Appendice C

Di seguito sono riportate le schede FMEA relative al progetto di Revamping della Macchine di Depolveratura delle linee 1 e 2 dello Stabilimento di SATA Melfi; come precedentemente esposto nelle schede non stati trascritte tutte le analisi eseguite, così come non sono esplicitamente indicati tutti i possibili modi di guasto presi in considerazione dal team, bensì si è deciso di trascrivere solamente i più significativi

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Feather Duster					Resp.							FEMA n°	Blower	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Modifiche pareti	Dimensioni errate	Cabina piccola	10	Specifiche errate a Olpi	2	Verifica on Site, invio DWG	2	40							
			10	Errore di montaggio	2	Verifica on Site	1	20							
		Tamponature mancanti	7	Specifiche errate a Olpi	3	Verifica on Site, verifica per-spedizione	1	21							
	Posizione porta errata	Impossibile montare	10	Specifiche errate a Olpi	1	Verifica on Site	1	10							
			10	Errore di montaggio	1	Verifica on Site	1	10							
Basamenti	Non suff. per carico macchina	Imbarco pavimento	8	Errore calcolo	2	Verifica progetto da terzi	1	16							
			8	Errore invio specifiche	2	Doppio invio specifiche	2	32							
			8	Dati mancanti	4	Stima on site	5	160	Verifica lavori storici	Olpi-LC		8	3	3	48

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Feather Duster					Resp.							FEMA n°	Blower	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Aria compressa	Non sufficiente	Sistema non efficiente o efficace	9	Errore di calcolo in progettazione Durr		Non disponibile									
			9	Plenum non sufficiente	6	Verifica da dati storici	7	378	Verifica on site disponibilità effettiva	SM-MM		9	3	2	54
			9	Dimensionamento errato Olpi		Non disponibile									
			9	Montaggio errato collettori	6	Verifica on site	2	108	Pre-montaggio	Olpi-MM		9	3	2	54
			9	Collettori errati	7	Verifica Pre-sped.	3	189	Pre-montaggio	Olpi-MM		9	2	2	36
Potenza elettrica	Non sufficiente	Sistema non funzionante	10	Dimensionamento errato		Non disponibile									
			10	Motori errati		Non disponibile									
Sovraccarichi di potenza	Fusione	Sistema non funzionante	10	Cablaggio elettrico errato	2	Verifica on site	2	40							
			10	Dimensionamento errato	1	Non disponibile									
		Sostituzione componenti	8	Cablaggio elettrico errato	2	Verifica on site	2	32							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Feather Duster					Resp.							FEMA n°	Blower	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
			8	Dimensionamento errato		Non disponibile									
		Incendio	10	Cablaggio elettrico errato	2	Verifica on site	2	40							
Canaline	Non sufficienti	Acquisto ulteriore (tempi e costi aumentano)	6	Errore di calcolo in lay-out	1	Verifica con TG	2	12							
	Troppo piccole	Acquisto nuovi componenti	8	Stima dimensioni cavi errata	1	Verifica con TG	2	16							
Bocchettoni laterali	Fermi	Non puliscono	10	No elettricità		Vedere sopra									
	Non aderenti	Non puliscono secondo std.	9	Programmazione errata	5	Simulazione 3D	6	270	Precomm	Durr+TG		9	2	2	36
			9	Errato riconoscimento scocca	5	Simulazione 3D	6	270	Doppio controllo scocca	Stab		9	2	2	36
		Collisione con scocca	10	Programmazione errata	7	Simulazione 3D	6	420	Precomm	Durr+TG		10	2	2	40
			10	Errato ric. scocca	8	Simulazione 3D	6	480	Doppio contr. scocca	Stab		10	2	2	40
	Non puliti	Non puliscono secondo std	9	Aria mancante		Vedere sopra		>100				9			<100

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Feather Duster					Resp.							FEMA n°	Blower	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	4	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
			9	Elettricità mancate		Vedere sopra		>100				9			<100
	Non seguono profilo scocca	Non puliscono secondo std	9	Programmazione errata	5	Simulazione 3D	6	270	Precomm	Durr+TG		9	2	2	36
			9	Errato riconoscimento scocca	5	Simulazione 3D	6	270	Doppio controllo scocca	Stab		9	2	2	36
Bocchettoni tetto	Fermi	Non puliscono	10	No elettricità		Vedere sopra									
	Non aderenti	Non puliscono secondo std.	9	Programmazione errata	5	Simulazione 3D	6	270	Precomm	Durr+TG		9	2	2	36
			9	Errato riconoscimento scocca	5	Simulazione 3D	6	270	Doppio controllo scocca	Stab		9	2	2	36
		Collisione con scocca	10	Programmazione errata	7	Simulazione 3D	6	420	Precomm	Durr+TG		10	2	2	40
			10	Errato ric. scocca	8	Simulazione 3D	6	480	Doppio contr. scocca	Stab		10	2	2	40
	Non puliti	Non puliscono secondo std	9	Aria mancante		Vedere sopra		>100				9			<100

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Feather Duster					Resp.							FEMA n°	Blower	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	5	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
			9	Elettricità mancate		Vedere sopra		>100				9			<100
	Non seguono profilo scocca	Non puliscono secondo std	9	Programmazione errata	5	Simulazione 3D	6	270	Precomm	Durr+TG		9	2	2	36
			9	Errato riconoscimento scocca	5	Simulazione 3D	6	270	Doppio controllo scocca	Stab		9	2	2	36
Sistemi di manutenzione	Zone non accessibili	No manut possibile (det. prestazioni)	8	Spazi non suff. (lay-out errati)	2	Verifica on site	2	32							
			8	Spazi non sufficienti (Errore calcoli lay-out errati)	2	Verifica pre-installazione	4	64							
	Carrelli motori non accessibili	No manut possibile (det. prestazioni)	8	Spazi non sufficienti (lay-out errati)	2	Verifica on site	2	32							
			8	Spazi non sufficienti (Errore lay-out errati)	2	Verifica pre-installazione	4	64							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Penne di EMU					Resp.							FEMA n°	EMU	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	1	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Modifiche pareti	Dimensioni errate	Cabina piccola	10	Specifiche errate a Olpi	2	Verifica on Site, invio DWG	2	40							
			10	Errore di montaggio	2	Verifica on Site	1	20							
		Tamponature mancanti	7	Specifiche errate a Olpi	3	Verifica on Site, verifica per-spedizione	1	21							
	Posizione porta errata	Impossibile montare	10	Specifiche errate a Olpi	1	Verifica on Site	1	10							
			10	Errore di montaggio	1	Verifica on Site	1	10							
Basamenti	Non suff. per carico macchina	Imbarco pavimento	8	Errore calcolo	2	Verifica progetto da terzi	1	16							
			8	Errore invio specifiche	2	Doppio invio specifiche	2	32							
			8	Dati mancanti	4	Stima on site	5	160	Verifica lavori storici	Olpi-LC		8	3	3	48

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Penne di EMU					Resp.							FEMA n°	EMU	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	2	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Aria compressa	Non sufficiente	Sistema non efficiente o efficace	9	Errore di calcolo in progettazione Durr		Non disponibile									
			9	Plenum non sufficiente	6	Verifica da dati storici	7	378	Verifica on site disponibilità effettiva	SM-MM		9	3	2	54
			9	Dimensionamento errato Olpi		Non disponibile									
			9	Montaggio errato collettori	6	Verifica on site	2	108	Pre-montaggio	Olpi-MM		9	3	2	54
			9	Collettori errati	7	Verifica Pre-sped.	3	189	Pre-montaggio	Olpi-MM		9	2	2	36
Potenza elettrica	Non sufficiente	Sistema non funzionante	10	Dimensionamento errato		Non disponibile									
			10	Motori errati		Non disponibile									
Sovraccarichi di potenza	Fusione	Sistema non funzionante	10	Cablaggio elettrico errato	2	Verifica on site	2	40							
			10	Dimensionamento errato	1	Non disponibile									
		Sostituzione componenti	8	Cablaggio elettrico errato	2	Verifica on site	2	32							

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Penne di EMU					Resp.							FEMA n°	EMU	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	3	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
			8	Dimensionamento errato		Non disponibile									
		Incendio	10	Cablaggio elettrico errato	2	Verifica on site	2	40							
Canaline	Non sufficienti	Acquisto ulteriore (tempi e costi aumentano)	6	Errore di calcolo in lay-out	1	Verifica con TG	2	12							
	Troppo piccole	Acquisto nuovi componenti	8	Stima dimensioni cavi errata	1	Verifica con TG	2	16							
Rulli obliqui	Fermi	Non puliscono	10	No elettricità		Vedere sopra									
	Non aderenti	Non puliscono secondo std.	9	Programmazione errata	5	Simulazione 3D	6	270	Precomm	Durr+TG		9	2	2	36
			9	Errato riconoscimento scocca	5	Simulazione 3D	6	270	Doppio controllo scocca	Stab		9	2	2	36
		Collisione con scocca	10	Programmazione errata	7	Simulazione 3D	6	420	Precomm	Durr+TG		10	2	2	40
			10	Errato ric. scocca	8	Simulazione 3D	6	480	Doppio contr. scocca	Stab		10	2	2	40
	Non puliti	Non puliscono secondo std	9	Aria mancante		Vedere sopra		>100				9			<100

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Penne di EMU					Resp.							FEMA n°	EMU	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	4	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
			9	Elettricità mancate		Vedere sopra		>100				9			<100
	Non seguono profilo scocca	Non puliscono secondo std	9	Programmazione errata	5	Simulazione 3D	6	270	Precomm	Durr+TG		9	2	2	36
			9	Errato riconoscimento scocca	5	Simulazione 3D	6	270	Doppio controllo scocca	Stab		9	2	2	36
Rullo tetto	Fermi	Non puliscono	10	No elettricità		Vedere sopra									
	Non aderenti	Non puliscono secondo std.	9	Programmazione errata	5	Simulazione 3D	6	270	Precomm	Durr+TG		9	2	2	36
			9	Errato riconoscimento scocca	5	Simulazione 3D	6	270	Doppio controllo scocca	Stab		9	2	2	36
		Collisione con scocca	10	Programmazione errata	7	Simulazione 3D	6	420	Precomm	Durr+TG		10	2	2	40
			10	Errato ric. scocca	8	Simulazione 3D	6	480	Doppio contr. scocca	Stab		10	2	2	40
	Non puliti	Non puliscono secondo std	9	Aria mancante		Vedere sopra		>100				9			<100

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)															
Item	Penne di EMU					Resp.							FEMA n°	EMU	
Project	2720894 - SATA Interni Robot L1,L2					Prepared							Page	5	
Team						Approved							Date		
Work Package	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Cause(s)/ Mechanism of Failure	Prob	Current Design Control(s)	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsability & Completion Date	Action Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
			9	Elettricità mancate		Vedere sopra		>100				9			<100
	Non seguono profilo scocca	Non puliscono secondo std	9	Programmazione errata	5	Simulazione 3D	6	270	Precomm	Durr+TG		9	2	2	36
			9	Errato riconoscimento scocca	5	Simulazione 3D	6	270	Doppio controllo scocca	Stab		9	2	2	36
Sistemi di manutenzione	Zone non accessibili	No manut possibile (det. prestazioni)	8	Spazi non suff. (lay-out errati)	2	Verifica on site	2	32							
			8	Spazi non sufficienti (Errore calcoli lay-out errati)	2	Verifica pre-installazione	4	64							
	Carrelli motori non accessibili	No manut possibile (det. prestazioni)	8	Spazi non sufficienti (lay-out errati)	2	Verifica on site	2	32							
			8	Spazi non sufficienti (Errore calcoli lay-out errati)	2	Verifica pre-installazione	4	64							

## 12 Bibliografia

- Abdelgawad, M., & Fayek, A. R. (2010). Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136, 1028–1036.
- Ben-Daya, M., & Raouf, A. (1996). A revised failure mode and effects analysis model. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13, 43–47.
- Bevilacqua, M., Braglia, M., & Gabrielli, R. (2000). Monte Carlo simulation approach for a modified FMECA in a power plant. *Quality and Reliability Engineering International*, 16, 313–324.
- Bowles, J. B., & Pelaez, C. E. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system Failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 50, 203–213.
- Braglia, M. (2000). MAFMA: multi-attribute failure mode analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 17, 1017–1033.
- Braglia, M., & Bevilacqua, M. (2000). Fuzzy modelling and analytical hierarchy processing as a means of quantifying risk levels associated with failure modes in production systems. *Technology, Law and Insurance*, 5, 125–134.
- Braglia, M., Fantoni, G., & Frosolini, M. (2007). The house of reliability. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24, 420–440.
- Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003a). Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20, 503–524.
- Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003b). Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis. *Quality and Reliability Engineering International*, 19, 425–443.
- Carmignani, G. (2009). An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority-cost FMECA. *Reliability Engineering and Systems Safety*, 94, 861–871.
- Chang, C. L., Liu, P. H., & Wei, C. C. (2001). Failure mode and effects analysis using grey theory. *Integrated Manufacturing Systems*, 12, 211–216.
- Chang, C. L., Wei, C. C., & Lee, Y. H. (1999). Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. *Kybernetes*, 28, 1072–1080.

- Chang, D. S., & Sun, K. L. P. (2009). Applying DEA to enhance assessment capability of FMEA. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26, 629–643.
- Chang, J. R., Chang, K. H., Liao, S. H., & Cheng, C. H. (2006). The reliability of general vague fault-tree analysis on weapon systems fault diagnosis. *Soft Computing*, 10, 531–542.
- Chang, K. H. (2009). Evaluate the orderings of risk for failure problems using a more general RPN methodology. *Microelectronics Reliability*, 49, 1586–1596.
- Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2010). A risk assessment methodology using intuitionistic fuzzy set in FMEA. *International Journal of Systems Science*, 41, 1457–1471.
- Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2011). Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 113–129.
- Chang, K. H., & Wen, T. C. (2010). A novel efficient approach for DFMEA combining 2-tuple and the OWA operator. *Expert Systems with Applications*, 37, 2362–2370.
- Chang, K. H., Cheng, C. H., & Chang, Y. C. (2010). Reprioritization of failures in a silane supply system using an intuitionistic fuzzy set ranking technique. *Soft Computing*, 14, 285–298.
- Chen, J. K. (2007). Utility priority number evaluation for FMEA. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 7, 321–328.
- Chen, L. H., & Ko, W. C. (2009a). Fuzzy approaches to quality function deployment for new product design. *Fuzzy Sets and Systems*, 160, 2620–2639.
- Chen, L. H., & Ko, W. C. (2009b). Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA. *Applied Mathematical Modelling*, 33, 633–647.
- Chin, K. S., Chan, A., & Yang, J. B. (2008). Development of a fuzzy FMEA based product design system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 633–649.
- Chin, K. S., Wang, Y. M., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009a). Failure mode and effects analysis by data envelopment analysis. *Decision Support Systems*, 48, 246–256.
- Chin, K. S., Wang, Y. M., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009b). Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. *Computers & Operations Research*, 36, 1768–1779.

- Dong, C. (2007). Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24, 958-971.
- Ford Motor Company (1988). Potential failure mode and effects analysis (FMEA) reference manual.
- Franceschini, F., & Galetto, M. (2001). A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA. *International Journal of Production Research*, 39, 2991-3002.
- Gandhi, O. P., & Agrawal, V. P. (1992). FMEA—A diagraph and matrix approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 35, 147-158.
- Garcia, P. A. A., Schirru, R., & Frutuoso Emelo, P. F. (2005). A fuzzy data envelopment analysis approach for FMEA. *Progress in Nuclear Energy*, 46, 359-373.
- Gargama, H., & Chaturvedi, S. K. (2011). Criticality assessment models for failure mode effects and criticality analysis using fuzzy logic. *IEEE Transactions on Reliability*, 60, 102-110.
- Geum, Y., Cho, Y., & Park, Y. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 3126-3142.
- Gilchrist, W. (1993). Modelling failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 10, 16-23.
- Guimaraes, A. C. F., & Franklin Lapa, C. M. (2004). Effects analysis fuzzy inference system in nuclear problems using approximate reasoning. *Annals of Nuclear Energy*, 31, 107-115.
- Guimaraes, A. C. F., & Lapa, C. M. F. (2004). Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system. *Progress in Nuclear Energy*, 44, 191-213.
- Guimaraes, A. C. F., & Lapa, C. M. F. (2006). Hazard and operability study using approximate reasoning in light-water reactors passive systems. *Nuclear Engineering and Design*, 236, 1256-1263.
- Guimaraes, A. C. F., & Lapa, C. M. F. (2007). Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. *Applied Soft Computing*, 7, 17-28.
- Guimaraes, A. C. F., Lapa, C. M. F., & Moreira, M. d. L. (2011). Fuzzy methodology applied to probabilistic safety assessment for digital system in nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Design*, 241, 3967-3976.

- Hu, A. H., Hsu, C. W., Kuo, T. C., & Wu, W. C. (2009). Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP. *Expert Systems with Applications*, 36, 7142-7147.
- Keskin, G. A., & Ozkan, C. (2009). An alternative evaluation of FMEA: Fuzzy ART algorithm. *Quality and Reliability Engineering International*, 25, 647-661.
- Kmenta, S., & Ishii, K. (2004). Scenario-based failure modes and effects analysis using expected cost. *Journal of Mechanical Design*, 126, 1027.
- Kutlu, A. C., & Ekmekcioglu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39, 61-67.
- Lertworasirikul, S., Fang, S. C., Joines, A. J., & Lw Nuttle, H. (2003). Fuzzy data envelopment analysis (DEA): A possibility approach. *Fuzzy Sets and Systems*, 139, 379-394.
- Liu, H. C., Liu, L., Bian, Q. H., Lin, Q. L., Dong, N., & Xu, P. C. (2011). Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Systems with Applications*, 38, 4403-4415.
- Liu, H. C., Liu, L., Liu, N., & Mao, L. X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 39, 12926-12934.
- Moss, T. R., & Woodhouse, J. (1999). Criticality analysis revisited. *Quality and Reliability Engineering International*, 15, 117-121.
- Nepal, B. P., Yadav, O. P., Monplaisir, L., & Murat, A. (2008). A framework for capturing and analyzing the failures due to system/component interactions. *Quality and Reliability Engineering International*, 24, 265-289.
- Pela'ez, C. E., & Bowles, J. B. (1996). Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis. *Information Sciences*, 88, 177-199.
- Pillay, A., & Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. *Reliability Engineering & System Safety*, 79, 69-85.
- Puente, J., Pino, R., Priore, P., & de la Fuente, D. (2002). A decision support system for applying failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19, 137-150.

- Rhee, S. J., & Ishii, K. (2003). Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. *Advanced Engineering Informatics*, 17, 179-188.
- Sankar, N. R., & Prabhu, B. S. (2001). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18, 324-336.
- Sant' Anna, A. P. (2012). Probabilistic priority numbers for failure modes and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 29, 349-362.
- Seyed-Hosseini, S. M., Safaei, N., & Asgharpour, M. J. (2006). Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. *Reliability Engineering & System Safety*, 91, 872-881.
- Shahin, A. (2004). Integration of FMEA and the Kano model: An exploratory examination. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21, 731-746.
- Sharma, R. K., & Sharma, P. (2010). System failure behavior and maintenance decision making using, RCA, FMEA and FM. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 16, 64-88.
- Sharma, R., & Sharma, P. (in press). Integrated framework to optimize RAM and cost decisions in a process plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22, 986-1004.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2007a). Behaviour analysis and resource optimisation for an industrial system. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2, 413-443.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2007b). FM-A pragmatic tool to model, analyse and predict complex behaviour of industrial systems. *Engineering Computations*, 24, 319-346.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2007c). Modeling and analysing system failure behaviour using RCA, FMEA and NHPPP models. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24, 525-546.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2007d). Modeling system behavior for risk and reliability analysis using KBARM. *Quality and Reliability Engineering International*, 23, 973-998.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2008a). Application of fuzzy methodology to build process reliability: A practical case. *International Journal of Product Development*, 5, 125-152.

- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2008b). Fuzzy modeling of system behavior for risk and reliability analysis. *International Journal of Systems Science*, 39, 563-581.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2008c). Predicting uncertain behavior of industrial system using FM— A practical case. *Applied Soft Computing*, 8, 96-109.
- Stamatis, D. H. (1995). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. New York: ASQC Press.
- Tan, C. M. (2003). Customer-focused build-in reliability: A case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20, 378-397.
- Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006a). Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23, 1047-1066.
- Tay, K. M., & Lim, C. P. (2006b). Application of fuzzy inference techniques to FMEA. In A. Abraham, B. de Baets, M. Koppen, & B. Nickolay (Eds.), *Applied soft computing technologies: The challenge of complexity*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Tay, K. M., & Lim, C. P. (2010). Enhancing the failure mode and effect analysis methodology with fuzzy inference techniques. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 21, 135-146.
- von Ahsen, A. (2008). Cost-oriented failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25, 466-476.
- Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., & Zhao, J. H. (2009a). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263-2278.
- Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009b). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*, 36, 1195-1207.
- Wang, J., Ruxton, T., & Labrie, C. R. (1995). Design for safety of engineering systems with multiple failure state variables. *Reliability Engineering & System Safety*, 50, 271-284.
- Xiao, N. C., Huang, H. Z., Li, Y. F., He, L. P., & Jin, T. D. (2011). Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. *Engineering Failure Analysis*, 18, 1162-1170.
- Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L., & Zhu, M. L. (2002). Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 75, 17-29.

- Xu, Z. S., & Da, Q. L. (2003). An overview of operators for aggregating information. *International Journal of Intelligent Systems*, 18, 953-969.
- Yang, J., Huang, H. Z., He, L. P., Zhu, S. P., & Wen, D. (2011). Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster-Shafer evidence theory under uncertainty. *Engineering Failure Analysis*, 18, 2084-2092.
- Yang, Z., Bonsall, S., & Wang, J. (2008). Fuzzy rule-based Bayesian reasoning approach for prioritization of failures in FMEA. *IEEE Transactions on Reliability*, 57, 517-528.
- Zafiropoulos, E. P., & Dialynas, E. N. (2005). Reliability prediction and failure mode effects and criticality analysis (FMECA) of electronic devices using fuzzy logic. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22, 183-200.
- Zammori, F., & Gabrielli, R. (2011). ANP/RPN: A multi criteria evaluation of the risk priority number. *Quality and Reliability Engineering International*, 28, 85-104.
- Zhang, Z. F., & Chu, X. N. (2011). Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 38, 206-214.