

**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'innovazione del
Prodotto

Modularità di prodotto nel settore delle macchine riempitrici:

il caso Galdi S.r.l.

Relatore: Prof.ssa Lara Agostini

Correlatore: Ing. Giacomo Dori

Studente: Gianluca Pagano 1156844

Anno Accademico 2018/2019

Ringraziamenti

Giunto alla fine di questo lungo, ma non senza soddisfazioni, percorso di studi non posso che ringraziare tutte le persone che mi hanno dato il loro appoggio.

Ringrazio la mia relatrice, la prof.ssa Agostini, per avermi seguito in quest'ultimo periodo e dato spunti importanti durante lo sviluppo di questo elaborato.

Ringrazio Galdi per avermi accolto in questi mesi permettendomi di sviluppare la mia tesi e di vedere come lavora un'azienda. In particolare, ringrazio Federico, per avermi offerto questa possibilità, Andrea, per avermi introdotto all'azienda e avermi seguito per il periodo iniziale di tirocinio, e Giacomo, per avermi aiutato con la realizzazione della tesi.

Ringrazio Andrea, Marco, Michael, Riccardo e Simone, i miei amici più cari, con i quali ho passato un sacco di bei momenti.

Ringrazio i miei genitori, Rita e Enrico, e mia sorella, Beatrice, per avermi sempre sostenuto. Senza di loro non ce l'avrei mai fatta.

E soprattutto non ci sarei riuscito se non ci fosse stata lei, la mia fidanzata, la mia Chiara. La ringrazio per tutta la pazienza dimostrata e per tutto il supporto e la felicità che ha saputo darmi in questi anni passati insieme.

Indice

Introduzione.....	1
Capitolo 1	3
1.1 Lo sviluppo prodotto.....	3
1.2 L'architettura di prodotto.....	5
1.2.1 Architettura integrale.....	6
1.2.2 Architettura modulare	7
1.2.3 Vantaggi del sistema integrale e modulare	7
1.2.4 Componenti standard.....	9
1.2.5 Componenti variabili.....	10
1.2.6 Piattaforma di prodotto	10
Capitolo 2	13
2.1 Modularità e piattaforma nel settore automotive.....	13
2.2 Piattaforma flessibile nel settore automotive.....	16
Capitolo 3	21
3.1 Metodo 1: progettazione per la varietà (Design for variety)	21
3.2 Metodo 2: piattaforma di prodotto flessibile (Flexible Product Platform)	25
3.2.1 Step 1: identificazione del segmento di mercato, delle varianti e incertezze.	26
3.2.2 Step 2: determinazione degli attributi chiave associati all'incertezza e le variabili di progetto	27
3.2.3 Step 3: ottimizzazione famiglia prodotto e ampiezza variabilità variabili di progetto.....	28
Step 4: Identificare elementi critici piattaforma.....	29
Step 5: Creazione di alternative con struttura flessibile.....	31
Step 6: determinazione del costo delle alternative	32
Step 7: analisi dell'incertezza.....	32
3.3 Metodo 3: ottimizzazione di una piattaforma modulare nella progettazione concettuale della carrozzeria di un veicolo tramite algoritmo modificato di scomposizione grafica e metodo dei costi (Modular platform optimization in conceptual vehicle body design via modified graph-based decomposition algorithm and cost-based priority method).....	33
Capitolo 4	37

4.1 Il metodo	37
4.1.1 Identificazione del segmento di mercato, delle varianti e incertezze.....	39
4.1.3 Variabilità delle variabili di progetto	40
4.1.4 Definizione dei moduli e concept.....	40
4.1.5 Analisi della piattaforma	41
Capitolo 5	43
5.1 Le macchine Galdi	43
5.1.1 Le riempitrici RG	43
5.2 Riempitrice RG50	46
5.2.1 Definizione della nuova RG50.....	50
5.3 La piattaforma RG50	52
5.3.1 Identificazione delle incertezze	54
5.3.2 Determinazione degli attributi chiave associati all'incertezza e delle variabili di progetto	54
5.3.3 Variabilità delle variabili di progetto	59
5.3.4 Definizione dei moduli del telaio	61
5.3.5 Concept telaio.....	67
5.3.6 Analisi telaio	71
Capitolo 6	83
6.1 Piattaforma modulare virtuale.....	83
6.1.1 Implementazione piattaforma nel programma di modellazione solida (Creo)86	
6.2 Piattaforma modulare reale	92
Conclusioni.....	103
Bibliografia.....	105
Sitografia	107

Introduzione

Questa tesi è stata sviluppata durante il periodo di tirocinio trascorso in Galdi S.r.l., azienda costruttrice di macchine riempitrici automatiche per prodotti lattiero-caseari e bibite non gasate. Questo lavoro si inserisce all'interno del progetto di revisione di uno dei modelli di macchina prodotta: la RG50. In particolare, si colloca nelle prime fasi di definizione della macchina in cui bisogna stabilire la sua architettura. L'azienda offre ai suoi clienti un'ampia scelta di macchine e di conseguenza si scontra con il problema di gestire internamente tutta questa varietà. La soluzione è stata individuata nell'operare a livello di architettura di prodotto, applicando i concetti di modularità e piattaforma. In particolare, questo elaborato propone un metodo per definire una piattaforma modulare che con la sua flessibilità permetta di gestire la varietà di prodotto attuale e non tema quella futura. La prima parte presenta lo studio della letteratura sull'argomento architettura di prodotto e piattaforma modulare flessibile, mentre la parte centrale e finale riguardano la definizione e l'applicazione del metodo proposto al caso Galdi. Di seguito viene riportato il contenuto affrontato in ogni capitolo:

- **Capitolo 1** Rapida introduzione allo sviluppo e all'architettura di prodotto. Sono di particolare importanza i concetti di modularità e piattaforma;
- **Capitolo 2** Breve report sull'evoluzione dell'architettura dell'automobile che ha portato in tempi recenti all'introduzione della piattaforma modulare per fronteggiare e offrire la varietà di prodotto richiesta;
- **Capitolo 3** Analisi della letteratura con l'introduzione di tre metodologie per lo sviluppo e la valutazione di una piattaforma modulare;
- **Capitolo 4** Sviluppo di un metodo iterativo per la definizione di una piattaforma modulare ottenuto a partire dai metodi presentati al Capitolo 3;
- **Capitolo 5** Applicazione del metodo proposto al caso RG50. In particolare l'attenzione è posta sulla definizione del gruppo telaio;
- **Capitolo 6** Introduzione della piattaforma sviluppata all'interno del contesto aziendale seguendo due diverse strade: virtuale e reale. Con la prima si introduce la piattaforma proposta nel solo ambiente software mentre con la seconda viene avanzata una effettiva proposta di realizzazione.

Capitolo 1

Architettura di Prodotto

In questo capitolo verrà presentato in breve cosa si intende per sviluppo prodotto, soffermandosi in particolare sul concetto di architettura di prodotto e riportando le nozioni di base ad essa collegate. Questo permetterà di comprendere meglio quanto svolto in questo lavoro di tesi e quale sono le idee alla sua base.

1.1 Lo sviluppo prodotto

Un prodotto è un bene ideato, realizzato e infine venduto da un'azienda. L'insieme di tutte le fasi che portano un'azienda a creare un prodotto viene indicato con il nome di sviluppo prodotto. Volendo essere più precisi possiamo riportare la definizione di Ulrich e Eppinger (1995) che scrivono “il processo di sviluppo prodotto è una sequenza di step che l'azienda segue per poter ideare, progettare e commercializzare un prodotto”. E sempre con riferimento a Ulrich e Eppinger (1995) si può definire di successo un prodotto che viene realizzato e venduto con profitto. Un prodotto di successo è in grado di soddisfare le esigenze del cliente. Svilupparne uno però non è così semplice, soprattutto se si considera che nella maggior parte delle aziende questa non è una procedura ben definita. Il problema infatti viene approcciato nei modi più diversi. Alcune aziende seguono schemi ben definiti, documentando il tutto in modo ordinato, mentre per altre il processo è meno organizzato e più casuale.

Una sequenza di fasi dello sviluppo prodotto ben definita assicura all'azienda:

- Qualità;
- Coordinamento;
- Pianificazione;
- Gestione;
- Miglioramento.

Per rappresentare in modo efficace la sequenza si può utilizzare il modello stage-gate. Come suggerisce il nome, il modello prevede di rappresentare l'intero processo di sviluppo in funzione di stage e gate. Gli stage sono serie di attività volte al raggiungimento di un certo obiettivo. Il gate è la fase di controllo posta tra uno stage e l'altro. Si può passare allo stage successivo solo se l'obiettivo precedente soddisfa le condizioni imposte nella fase di gate. Nel caso dello sviluppo di un prodotto il controllo viene eseguito dal project manager che decide se far proseguire il progetto e secondo che direzione.

Lo sviluppo prodotto rappresentato tramite il modello stage-gate si articola, in genere, in 5-6 stage e gate come riportato in Figura 1.1.

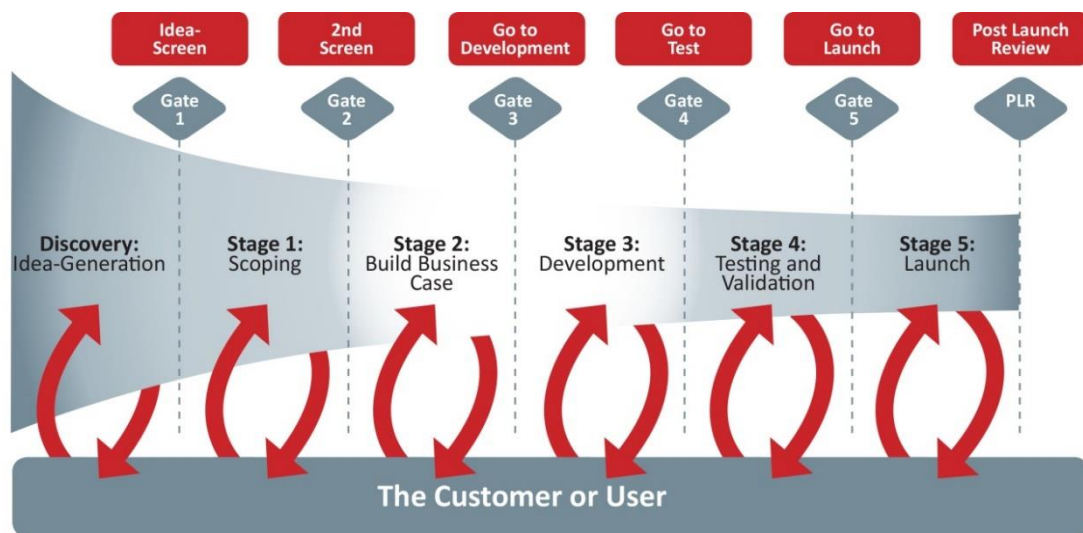


Figura 1.1 Rappresentazione stage-gate sviluppo prodotto (<http://gemba.dk/stage-gate/>)

Le fasi possono essere descritte come segue:

- Gate 1. Valutazione dell'idea;
- Stage 1. Analisi e pianificazione con redazione di un primo piano di prodotto. Analisi dal punto di vista tecnico, economico e di mercato e pianificazione dei prodotti e delle risorse;
- Gate 2. Valutazione del piano di prodotto;

- Stage 2. Concetto di prodotto e pre-design. Individuazione bisogni dei clienti e definizione concetto di prodotto. Definizione preliminare architettura di prodotto;
- Gate 3. Decisione se proseguire o meno sviluppo;
- Stage 3. Progettazione di dettaglio e realizzazione prototipi e raccolta feedback iniziali clienti. Progettazione processi produttivi;
- Gate 4. Valutazione se effettuare test all'esterno;
- Stage 4. Esecuzione test del prodotto. Pianificazione del processo produttivo e del lancio;
- Gate 5. Valutazioni di lancio;
- Stage 5. Lancio del prodotto e tutto ciò che segue.

Quello riportato in Figura 1.1 è il modello stage-gate base di Cooper. La sua limitazione principale è legata al non poter parallelizzare i vari step; si passa allo step successivo solo quando il precedente viene completato. Questa limitazione si traduce nel non poter ridurre in modo significativo il tempo di sviluppo prodotto. Il problema è in parte superato con il modello evoluto che permette una parziale sovrapposizione delle varie fasi.

1.2 L'architettura di prodotto

Come riportato al paragrafo §1.1, lo stage 2 consiste principalmente nel pre-design. Il pre-design è la fase di progettazione preliminare che segue lo sviluppo concettuale del prodotto, in cui avviene la generazione e selezione dei concetti, specifiche e test. Consiste nel definire l'architettura di prodotto e la sua varietà nel tempo.

L'architettura di prodotto è ciò che permette all'azienda di essere competitiva consentendogli di sviluppare prodotti in grado di soddisfare i clienti e limitando la varietà interna. Un'ampia scelta di prodotti si traduce internamente all'azienda in una certa complessità a cui viene dato il nome di varietà interna. L'architettura consiste nella definizione delle funzioni del prodotto e nella loro mappatura nei singoli componenti fisici (Ulrich e Eppinger, 1995). Più in particolare l'architettura si costruisce andando a:

- Definire gli elementi funzionali;
- Mappare questi nei singoli componenti o nei moduli;
- Specificare le interfacce tra componenti o moduli.

Quindi l'architettura indica come i componenti fisici vengono organizzati nel prodotto al fine di garantirne le funzioni. Con interfaccia si indica il collegamento tra i componenti. Le interfacce possono essere di tipo fisico oppure non fisico, come ad esempio la comunicazione wireless tra due parti.

È possibile individuare principalmente due tipologie di architettura di prodotto: modulare e integrale. La definizione di queste due tipologie nasce dal modo in cui le funzioni svolte dal prodotto sono legate ai suoi componenti, o sottoassiemi. Le funzioni possono infatti essere legate ai sottoassiemi in modi diversi. Una funzione associata ad un componente, più funzioni ad un componente o una funzione a più componenti. A seconda di quale sarà la mappatura presente si parlerà di architettura modulare o integrale.

1.2.1 Architettura integrale

L'architettura integrale è costituita da una connessione tra funzioni e componenti complessa. Non avremo una relazione uno a uno tra funzioni e componenti, cioè una funzione associata ad un solo componente o sottoassieme, ma bensì una relazione più intricata in cui magari una funzione è legata a più componenti o un componente svolge più funzioni. Risultato di questa configurazione è che le interfacce sono accoppiate; cioè cambiare un componente comporta il cambio anche di quello a cui è connesso. Le interazioni tra i sottoassiemi non sono ben definite.

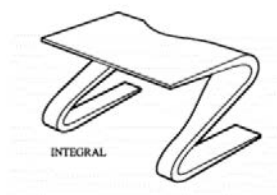


Figura 1.2 Architettura integrale (<http://www.mne.psu.edu>)

1.2.2 Architettura modulare

L'architettura si definisce modulare quando la relazione funzione-componente è uno a uno, cioè quando un componente svolge una sola funzione. Il componente o sottoinsieme in questo caso prende il nome di modulo. Le interazioni tra i sottoinsiemi sono ben definite; le interfacce sono standard e disaccoppiate. Essendo disaccoppiate, la modifica del modulo non comporta la modifica del componente o dei componenti ad esso connessi.

L'architettura modulare si può dividere in tre categorie (Ulrich e Eppinger, 1995):

- Slot. Le interfacce del prodotto sono tutte diverse. Il prodotto è modulare ma moduli che svolgono funzioni diverse tra di loro non possono essere scambiati tra di loro;
- Bus. È presente un elemento a cui tutti gli altri componenti si connettono tramite interfaccia comune. Quindi tutte le interfacce sono uguali e connettono i componenti a un singolo elemento. I moduli si possono scambiare nelle loro posizioni sull'elemento comune;
- Sectional: tutte le interfacce sono comuni e i componenti non si connettono ad un elemento comune. Tutti i componenti possono scambiarsi tra di loro.

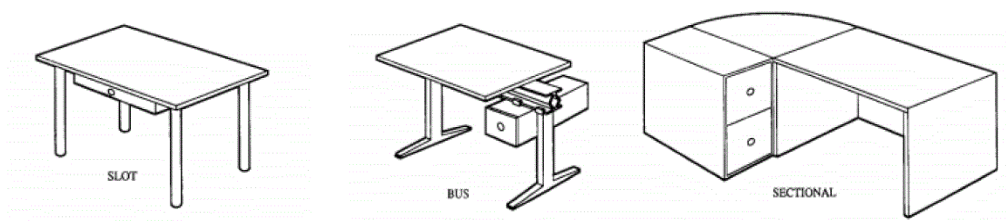


Figura 1.3 Architettura modulare slot, bus e sectional (<http://www.mne.psu.edu>)

1.2.3 Vantaggi del sistema integrale e modulare

L'architettura integrale e quella modulare hanno vantaggi e svantaggi. Questi possono e devono essere sfruttati al meglio a seconda del prodotto a cui si fa riferimento.

I vantaggi dell'architettura integrale sono:

- migliori performance in termini di dimensione, forma e peso
- Facilità maggiore nella progettazione; conseguenti costi e tempi di progettazione inferiori

I vantaggi dell'architettura modulare sono stati organizzati in tre sottogruppi legati alle varie fasi di sviluppo del prodotto. Quindi avremo:

1. Vantaggi di utilizzo;

- Incremento di varietà;
- Prodotti aggiornabili;
- Miglioramento qualità;
- Facilità di manutenzione;

2. Vantaggi di produzione;

- Economia di scala;
- Flessibilità, grazie alla presenza di moduli e componenti comuni sarà più facile gestire un sistema ATO, assembly to order;

3. Progettazione;

- Innovazione meno costosa e più rapida;
- Coordinazione del lavoro più facile; possibilità di mettere in parallelo gruppi di progetto interni o esterni che lavoreranno sul modulo a loro assegnato, indipendentemente gli uni dagli altri.

Si può affermare che i vantaggi di una sono gli svantaggi dell'altra. Per questo motivo si può dire che non c'è un'architettura migliore a prescindere, ma è strettamente legata al contesto, cioè al prodotto a cui si deve applicare. Se prendiamo ad esempio il settore automotive possiamo trovare esempi di applicazione di entrambi i concetti. Per le auto con alti volumi produttivi e prestazioni avremo un uso maggiore dell'architettura modulare. I volumi elevati permettono di sobbarcarsi costi progettuali iniziali maggiori. Auto prodotte in pochi pezzi e a cui sono richieste prestazioni elevate giustificheranno un ampio utilizzo dell'architettura integrale.

Naturalmente l'architettura di un prodotto complesso difficilmente sarà solo integrale o solo modulare. In genere vi è un misto delle due tipologie; quindi alcune parti saranno modulari mentre altre integrali.

In genere le due convivono all'interno di uno stesso prodotto con la prevalenza di una rispetto all'altra. Molto spesso quando si introduce il concetto di modularità si presenta il caso Lego. I mattoncini Lego sono uno degli esempi più estremi di modularità. Ogni mattoncino è un modulo e può essere sostituito da qualsiasi altro mattoncino per creare un'ampia varietà di oggetti complessi. Nonostante questo anche nel singolo mattoncino Lego si può ritrovare l'architettura integrale; gli incastri e il corpo del mattoncino sono un pezzo unico ma svolgono funzioni differenti. I primi servono a collegare tra di loro i vari mattoncini mentre il corpo serve a dare spazialità all'oggetto che si vuole creare. Quindi si può affermare l'impossibilità della perfetta separazione di funzioni; anche nel prodotto modulare per eccellenza, il mattoncino Lego, struttura integrale e modulare coesistono.

Quando si vuole definire il tipo di architettura è importante considerare non solo il prodotto in se ma anche come verrà realizzato. Se il processo produttivo è sufficientemente flessibile si può utilizzare l'architettura integrale anche per un prodotto con varietà esterna elevata. Con processo flessibile si intende un processo che presenta bassi costi per l'attrezzatura e bassi tempi di set up. Solo in questo modo è possibile far fronte all'elevata varietà interna che comporta l'architettura integrale.

1.2.4 Componenti standard

I componenti standard sono componenti che vengono condivisi da più prodotti. È possibile standardizzare un componente se la sua o le sue funzioni sono comuni a più prodotti e se l'interfaccia del componente è la stessa per prodotti diversi. Facendo un collegamento con i precedenti concetti di modulare e integrale si può affermare che un componente modulare sarà più facilmente standardizzabile, dato che svolge una sola funzione e la sua interfaccia è disaccoppiata. Le interfacce disaccoppiate facilitano la creazione di interfacce standard. Discorso diverso per i componenti integrali; data la presenza di più funzioni in un solo componente risulta molto più difficile standardizzarli. Infatti, sarebbe possibile farlo solo su componenti che presentano la medesima combinazione di funzioni.

Il vantaggio principale della standardizzazione risiede nella possibilità di produrre il componente in elevati volumi perseguendo l'economia di scala e riducendo le risorse e i

tempi legati alla loro progettazione e sviluppo. Tutto ciò si traduce in una riduzione dei costi. Un componente standard ha prestazioni e qualità generalmente più elevate di un componente non standard dato che il produttore può concentrare le sue energie su una sola configurazione invece che su molte varianti dello stesso. Gli svantaggi sono una ridotta spinta innovativa e l'utilizzo dei componenti standard anche per applicazioni che magari richiederebbero performance minori rispetto a quelle per cui è stato concepito il componente, portando ad un aumento dei costi.

1.2.5 Componenti variabili

I componenti variabili sono quelli che variano da un prodotto all'altro. Sono quelli che non è possibile standardizzare e che quindi vanno a differenziare i prodotti gli uni dagli altri. La loro standardizzazione comporterebbe la perdita di varietà esterna del prodotto.

1.2.6 Piattaforma di prodotto

La definizione di componenti standard e variabili ci permette di fare un passo ulteriore e presentare il concetto di piattaforma di prodotto.

La piattaforma è costituita da un'architettura condivisa fra più modelli e versioni del prodotto, che di solito vengono chiamati derivati, e che possono essere lanciati sul mercato successivamente all'introduzione del nuovo prodotto (Ulrich e Eppinger, 1995). Usando le parole di un altro autore si può definire come una base tecnologica comune dalla quale una famiglia di prodotti viene derivata tramite modifiche della piattaforma per puntare a determinate nicchie di mercato (Qian Ma et al., 2011).

Riducendo il concetto di piattaforma ai soli elementi fisici essa sarà costituita da tutti quegli elementi standardizzati condivisi tra più modelli e versioni del prodotto. Come riportato da Ulrich e Eppinger (1995) con la piattaforma si cerca l'equilibrio fra differenziazione e condivisione.

Infatti, la piattaforma rappresenta la risposta a una crescente domanda di varietà da parte del cliente (Cameron e Edward, 2014). La complessità che questa varietà si porta dietro

può essere arginata con una semplificazione interna del prodotto. Ad esempio, le case automobilistiche si trovano a fronteggiare questo problema quotidianamente. Un modello di automobile può avere anche più di cinque milioni di combinazioni considerando tutte le opzioni che vengono offerte (Cameron, 2011). Con la piattaforma le aziende sono in grado di standardizzare il più possibile, riducendo la variabilità interna ma conservando quella esterna.

Sviluppare una piattaforma richiede un investimento di risorse e conoscenze importante dato che rappresenta il punto di incontro di prodotti diversi tra loro. Se non pianificata attentamente può portare a eccessiva similarità dei suoi derivati.

Altri svantaggi della piattaforma sono (Suh, 2005):

1. uniformare le performance dei prodotti;
2. cannibalizzare i prodotti;
3. inibire lo sviluppo di nuovi prodotti.

Quindi usare la medesima piattaforma su prodotti diversi può portare a prestazioni simili, o addirittura perdita di prestazioni, e limitare l'innovazione a causa del fatto che una parte di essi sarà sempre legata al passato. Con cannibalizzazione ci si riferisce al rischio che prodotti diversi di una stessa azienda, che condividono la stessa piattaforma, vadano a mangiarsi quote di mercato a vicenda (Sanderson e Uzumeri, 1995). Come riportato da Cameron e Edward (2014) questo fenomeno è tanto più evidente quanto più c'è similarità tra di loro. Cioè prodotti appartenenti alla stessa fascia di mercato presentano una maggior facilità di introduzione di piattaforma comune ma con esse vi è anche un maggior rischio di cannibalizzazione. Agli occhi dei consumatori risulterebbero troppo simili e ci sarebbe la naturale tendenza a scegliere quello a costo minore. Un esempio di quanto appena descritto si è verificato negli anni novanta ai danni del gruppo Volkswagen. I consumatori si accorsero che le auto Skoda condividevano il 60% dei pezzi con le auto Volkswagen, presentavano gli stessi standard qualitativi e avevano un prezzo inferiore (Suh, 2005).

Al concetto di piattaforma si può legare quello di flessibilità. Con flessibilità si intende la capacità che ha un sistema di fronteggiare condizioni mutevoli o l'instabilità causata dall'ambiente, cioè essere *future-proof* (Diffner, 2011). Gli elementi flessibili sono elementi in grado di incorporare questa capacità di adattamento e trasferirla al sistema a cui vengono legati. Sono così in grado di soddisfare differenti requisiti, producendo

differenti prodotti/processi. Sono modificabili con investimenti minori rispetto a componenti fissi che svolgerebbero il medesimo compito (Suh, 2005).

Un esempio particolare di piattaforma flessibile è rappresentato dalla piattaforma scalabile; questa manifesta la sua flessibilità nella capacità di coprire prodotti di una famiglia che si differenziano tra loro per le variabili scalabili. Con variabili scalabili si intendono variabili che possono contrarre o espandere i prodotti di una famiglia così che possano offrire prestazioni differenti (Simpson, 2001). La famiglia di prodotto è un gruppo di beni che condividono specifiche, componenti e sottosistemi (Simpson, 2001). Inoltre condividono processi, segmenti di clienti, canali di distribuzione, metodi di prezzatura, campagne promozionali e altri metodi di marketing.

Capitolo 2

Architettura di prodotto nel settore automotive: modularità e piattaforma

In questo capitolo si fa una breve presentazione di quanto fatto negli anni dai produttori di auto per far fronte alla crescente richiesta di personalizzazione da parte del cliente. L'ispirazione per questo lavoro di tesi infatti parte da quando sviluppato dalle case automobilistiche nel campo dell'architettura di prodotto con l'introduzione delle piattaforme e della modularità

2.1 Modularità e piattaforma nel settore automotive

L'industria dell'auto è in assoluto una delle più competitive. Per un costruttore introdurre innovazioni in grado di dare un vantaggio sulla concorrenza è di fondamentale importanza. Innovare di continuo è un requisito importante per stare al passo con ciò che chiede il mercato. Al giorno d'oggi il cliente è più esigente e più informato e soprattutto dispone di un'ampia scelta di marchi e modelli tra cui scegliere. Se il modello di un produttore non lo soddisfa si rivolge a qualcun altro e questo significa perdere un acquirente. Ad inizio Novecento la situazione era diversa. Quando si vuole descrivere lo stato dell'industria automobilistica ai suoi albori si introduce sempre il discorso parlando della Model T della Ford, il primo modello di auto prodotto in serie tramite catena di montaggio. Tutte le Model T che uscivano dalla fabbrica Ford erano uguali l'una all'altra. Il mercato si adeguava a quanto offerto dal costruttore dato che le alternative erano poche. In questo modo era possibile incrementare l'economia di scala a livelli decisamente elevati; puntando su altissimi volumi produttivi e costi bassi. Naturalmente la situazione non poteva rimanere così per sempre. Con il tempo il mercato si è evoluto e questo modello produttivo ha perso efficacia; il cliente richiedeva maggiore personalizzazione del prodotto. I produttori di auto si trovarono di fronte alla

difficoltà di gestire una maggiore varietà di prodotto e quindi maggior complessità interna. Per poter far fronte alla problematica una delle soluzioni adottate fu l'introduzione della piattaforma. Il suo primo utilizzo nell'industria dell'auto risale agli anni '60 (Lampon et al. 2017) ma è solo nel 1994 che quasi la totalità delle compagnie automobilistiche decide, per necessità, di applicarla ai propri prodotti (Muffatto, 1999).

I vantaggi dati dallo sviluppo di una piattaforma in campo automotive sono principalmente tre (Muffatto, 1999):

- Riduzione costi;
- Produttività dello sviluppo prodotto;
- Riduzione del tempo sviluppo.

Implementare in maniera adeguata una piattaforma può portare a una riduzione dei tempi di sviluppo anche del 30% [12]. Perché questi vantaggi siano massimizzati idealmente si dovrebbe applicare la singola piattaforma al maggior numero possibile di prodotti. Fare questo comporterebbe il rischio di eccessiva somiglianza tra i derivati. L'industria dell'auto iniziò allora a produrre un certo numero di piattaforme, generalmente elevato, per coprire tutta la loro offerta di prodotti. Un numero elevato di piattaforme si traduce in costi elevati. Quindi il passo successivo fu quello di ridurre il numero delle piattaforme derivando da esse un numero maggiore di modelli. Il numero di modelli che possono e devono essere derivati da una piattaforma naturalmente non può essere infinito ma anzi è molto limitato. Muffatto (1999) fornisce un valore preciso e ne individua una dipendenza in base alla tipologia di veicolo. Da una piattaforma utilizzata per utilitarie si possono derivare circa 3 modelli; per veicoli commerciali/polivalenti il rapporto piattaforma-derivato è circa 1, da una piattaforma derivano un solo modello. La tendenza a ridurre il numero di piattaforme si manifestò a fine anni '90, inizio anni 2000. Per fare questo si fecero convergere più piattaforme in una sola; ad esempio una tendenza fu quella di derivare dalle piattaforme per le utilitarie anche i veicoli commerciali (Muffatto, 1999). La riduzione e standardizzazione portò ad avere una singola piattaforma da cui derivare diversi modelli, tutti appartenenti allo stesso segmento di mercato. Questo permise di aumentare il numero di componenti condivisi dai modelli, perseguendo l'economia di scala, semplificare i processi ingegneristici e di progettazione, ridurre i costi e i tempi di sviluppo. Inoltre, da un punto di vista produttivo permise di globalizzare i processi grazie alla possibilità di

trasferire la produzione da un impianto ad un altro. Questo si tradusse anche in una riduzione dei costi, data dall'utilizzo di risorse a livello globale (Lampon et al., 2017).

La tendenza successiva, manifestatasi sempre nei primi anni 2000, fu rappresentata da una prima introduzione del concetto di modularità a quello di piattaforma. Furono sviluppati moduli complessi da aggiungere alle piattaforme per aumentare la varietà di prodotto. Questo permise di attenuare in parte il vincolo che una piattaforma aveva rispetto al segmento di appartenenza. In parte, perchè come si può notare dalla Figura 2.1 (b), la varietà data dall'aggiunta dei moduli è comunque limitata dalla standardizzazione della base comune. Al massimo ci si può spingere ai segmenti adiacenti.

Lo step successivo su cui l'industria automobilistica si è focalizzata, a partire dal 2010, e si sta focalizzando tutt'ora è quello ridurre ulteriormente il numero di piattaforme cercando di renderle più adattabili. Per fare questo si sta puntando a creare un legame più profondo tra piattaforma e modularità. Il risultato di questa unione è la nascita di una nuova idea di base tecnologica comune a prodotti diversi ma flessibile in modo tale che permetta di superare i limiti del vecchio concetto di piattaforma automobilistica. In letteratura viene indicata con il nome di piattaforma flessibile o modulare.

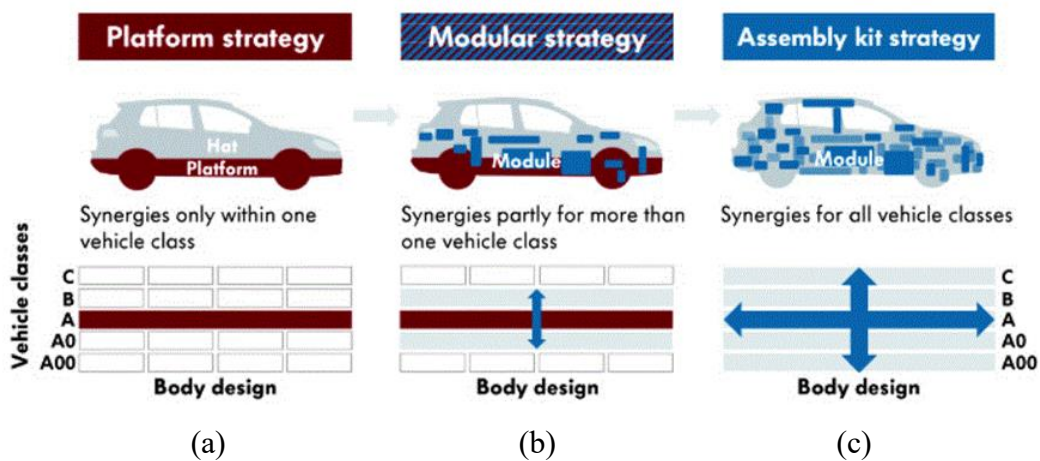


Figura 2.1 Evoluzione dell'architettura dei veicoli Volkswagen (www.fltechnical.net)

In Figura 2.1 è rappresentata l'evoluzione dell'architettura del veicolo riportata sopra. Il veicolo, inizialmente basato sulla piattaforma, inizia a modificarsi come risultato della rinnovata necessità di varietà, richiesta dal cliente, e di standardizzazione, voluta dal

produttore, introducendo piattaforma e modularità, prima tenendoli separati e infine unendoli. Inoltre viene messa in evidenza la flessibilità dei differenti approcci. Dalla rigidità della piattaforma, applicabile a un solo segmento, fino alla versatilità della nuova struttura in grado di adattarsi a molteplici segmenti, passando per una via di mezzo in grado di dare limitata flessibilità.

2.2 Piattaforma flessibile nel settore automotive

Come scritto al paragrafo §2.1, la piattaforma flessibile è una parte del prodotto in grado di adattarsi a diversi contesti e rispondere all'incertezza dell'ambiente in cui viene introdotta. Una piattaforma per potersi adattare ai diversi prodotti attuali e a i prodotti futuri deve essere modulare (Sanchez, 2004), cioè essere l'unione del concetto di piattaforma con il concetto di modularità (Lampon et al., 2017). Quindi una piattaforma flessibile è di fatto una piattaforma modulare. I moduli standard, o componenti standard, costituiscono la piattaforma, mentre i moduli variabili sono quelli che garantiscono la flessibilità e vengono sostituiti/modificati quando risulta necessario garantire diversità di prodotto.

Così è possibile non solo assemblare auto di dimensioni simili, cioè appartenenti allo stesso segmento, come faceva la piattaforma precedente, ma anche assemblare auto appartenenti a segmenti differenti, cioè di dimensioni differenti (Lampon et al., 2017). Riuscire quindi a combinare quella che viene definita varietà verticale, cioè derivare da una piattaforma modelli di uno stesso segmento, con la varietà orizzontale, cioè coprire i modelli di segmenti diversi (Lampon et al., 2017). Come vedremo più avanti questi due esempi di varietà possono essere inglobati nei più generali concetti di varietà spaziale e generazionale presentati da Martin e Ishii (2002). Dove con varietà spaziale si intende la varietà di prodotti attuali e varietà generazionale indica invece la varietà futura di prodotto come mostrato in Figura 2.2.

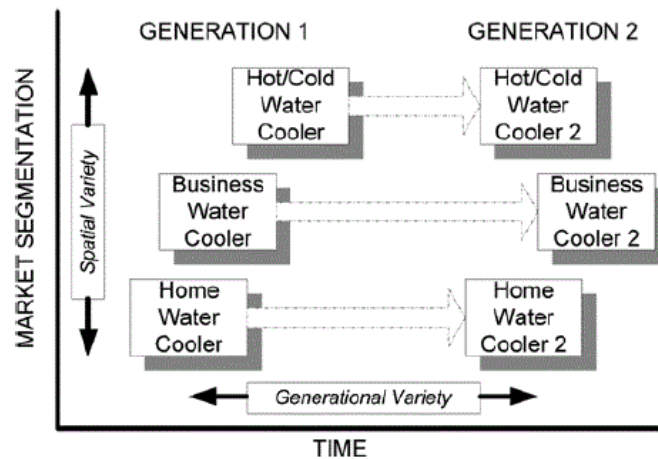


Figura 2.2 Varietà spaziale-generazionale

Naturalmente, sviluppare una piattaforma di questo tipo prevede costi più elevati della piattaforma “tradizionale”. Bisogna progettare in modo tale che si adatti a veicoli di diversi segmenti e dato che una piattaforma viene utilizzata per un periodo di tempo medio-lungo deve essere in grado di far fronte a quelle che sono le incertezze future del mercato (Suh, 2005). Maggiore sarà la varietà spaziale che si vorrà coprire con la piattaforma maggiore saranno le difficoltà progettuali. Oltre un certo valore di varietà diventa controproducente sviluppare la piattaforma. C’è un limite ai prodotti che possono essere derivati da una piattaforma.

A questa nuova idea di piattaforma si stanno uniformando tutti i maggiori produttori di auto. Esempi di piattaforma flessibile sviluppati dalle case automobilistiche sono:

- MB di Volkswagen;
- CMF di Renault-Nissan;
- EMP di Peugeot-Citroen;
- MRA di Daimler;
- BMW UKL;
- General Motor D2XX;
- SPA Volvo.

Volkswagen è stata una delle prime a sviluppare una piattaforma flessibile applicabile a macchine di diversi segmenti. Le previsioni al 2012 erano di usare la nuova architettura su 40 modelli di auto con una riduzione di peso per i veicoli costruiti con la piattaforma

MQB dai 40 kg ai 60 kg e di consumo carburante del 20%. Inoltre associata alla nuova piattaforma modulare vi sarà anche un sistema produttivo modularizzato così da poter standardizzare step produttivi e quindi intere aziende, ottenendo l'abbassamento dei tempi e dei costi di produzione. Per gli impianti che adottano il principio produttivo modularizzato era prevista una capacità produttiva di 30 veicoli/ora con la possibilità di arrivare a 60 veicoli/ora con l'utilizzo di risorse in più (U. Hackenberg, 2002). Per l'introduzione della piattaforma MQB si stima che Volkswagen abbia speso nell'arco di 4 anni, fino al 2012, circa 50 miliardi di dollari, prevedendo un ritorno economico a partire dal 2014 (Buiga, 2012). Attualmente la piattaforma MQB viene utilizzata per i principali marchi del gruppo Volkswagen: Volkswagen, Audi, Seat e Skoda. Inoltre viene utilizzata per derivare modelli di segmenti diversi (www.auto.economictimes.indiatimes.com). Nel caso particolare di Volkswagen il concetto di piattaforma flessibile è stato tradotto con una standardizzazione della distanza che va dai pedali fino all'asse frontale del veicolo mentre il resto delle dimensioni è libero di variare come mostrato in Figura 2.3. La piattaforma è altamente adattabile ai vari modelli di auto e la standardizzazione, anche se limitata, fornisce notevoli vantaggi soprattutto se si considera il numero di veicoli prodotto dall'azienda.



Figura 2.3 Piattaforma MQB Volkswagen (www.quattroruote.it)

Altro vantaggio che le case automobilistiche hanno ottenuto dallo sviluppo di piattaforme flessibile è legata all'aspetto produttivo. Si rende possibile l'associazione di un solo impianto produttivo a più modelli di auto di segmenti diversi (Lampon et al., 2017). Storicamente a un impianto era associato un solo modello. Con l'avvento della piattaforma un impianto si occupava dell'assemblaggio di tutti i modelli legati a quella

piattaforma, quindi ai modelli di un solo segmento essendo la piattaforma inizialmente legata a un solo segmento. Con la piattaforma flessibile si supera questa rigidità produttiva permettendo di produrre più modelli di uno stesso segmento o di stessi segmenti in un unico stabilimento.

Lampon et al. (2017) sottolinea come le aziende che trarranno sicuro beneficio da una piattaforma modulare sono quelle che hanno elevati volumi produttivi per modello e grandi range di prodotto. Mentre per aziende con bassi volumi o limitati range di prodotto si rende necessaria un'analisi costi-benefici. C'è comunque da dire che la piattaforma grazie alle sue parti standard e alla flessibilità incrementa di per sé l'economia di scala e l'economia di scopo. Con economia di scala si intende la relazione che è presente tra aumento della scala produttiva e diminuzione del costo medio unitario di produzione; mentre con economia di scopo ci si riferisce al risparmio che deriva dalla produzione congiunta di prodotti diversi (www.treccani.it)

Approfondendo la questione dei moduli che costituiscono la piattaforma, sempre rifacendosi all'automotive ma applicabile anche ad altri contesti, si può darne una definizione più precisa di quella presentata poco sopra. Huo et al (2016) forniscono un esempio individuandone 4 tipologie:

- Moduli condivisi: moduli presi così come sono e condivisi tra modelli diversi;
- Moduli parametrizzati: moduli che variano a seconda di requisiti di progetto; costosi. Sono i moduli che di fatto garantiscono la flessibilità della piattaforma. È sufficiente sostituirne uno per soddisfare un determinato requisito di progetto, come allungare la piattaforma. Per poter fare ciò si va a definire una selezione di ricambi da cui poter attingere;
- Moduli flessibili: soddisfano requisiti strutturali. Il nome potrebbe trarre in inganno ma questi moduli non sono quelli che definiscono la flessibilità della piattaforma ma bensì quelli che cambiano al cambiare dei moduli parametrizzati. Devono essere modificati in modo tale da continuare a garantire le performance volute quando sostituisco i moduli parametrizzati. Il costo varia in base all'entità della modifica che devono subire;
- Moduli unici: usati solo su un particolare modello. Non possono essere condivisi in alcun modo.

Anche Suh (2005) offre una classificazione individuandone 3 tipi visibili in Figura 2.4:

- Moduli comuni: moduli presenti su tutti i modelli;
- Moduli unici: moduli presenti solo su un modello;
- Moduli flessibili: moduli presenti su tutti i modelli ma soggetti a modifiche a seconda del tipo di modello.

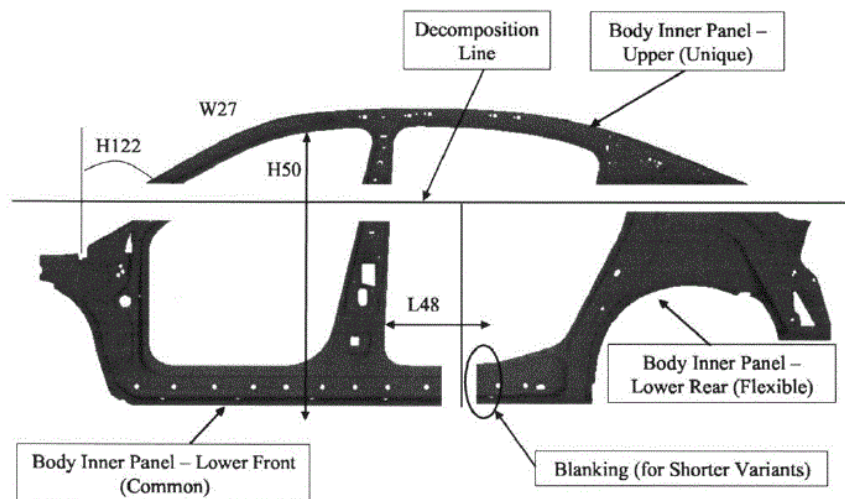


Figura 2.4 Scomposizione in moduli

Le due distinzioni sono più o meno coincidenti. Quella di Huo rispetto a quella di Suh presenta in più i moduli flessibili per come li definisce l'autore, tenendo quindi in considerazione anche la performance del prodotto. Questo aspetto non viene affrontato da Suh che considera le modifiche associate al cambiamento dei pezzi flessibili come assorbito dai moduli unici. Per Suh la progettazione nel rispetto dei requisiti tecnici è sottintesa e non affrontata.

Capitolo 3

Teoria: metodi per la definizione di una piattaforma modulare

In questo capitolo verranno presentati tre studi differenti che permettono di definire e ottimizzare una piattaforma. Gli ultimi due metodi presentati sono stati sviluppati per l'applicazione all'industria automotive.

3.1 Metodo 1: progettazione per la varietà (*Design for variety*)

Il primo studio presentato è stato sviluppato da Martin e Ishii e pubblicato nel 2002. L'intero metodo si basa sulla definizione di due indici: SVI o GVI e CI. I primi due stanno per Spatial Variety Index e Generational Variety Index mentre la terza sta per Coupling Index. L'SVI e GVI indicano il grado di riprogettazione necessario a un certo componente per adattarsi rispettivamente alle richieste presenti e future del mercato. Il CI indica invece il grado di accoppiamento di un componente; cioè quanto esso è legato ad altri componenti. Il GVI/SVI sono legati a fattori esterni mentre il CI a fattori interni.

Per il calcolo del GVI, e analogamente per l'SVI, si procede associando alle richieste del cliente delle metriche che poi saranno introdotte in una matrice assieme ai componenti del prodotto. La matrice così definita mette in relazione i componenti con le metriche legate al bisogno del cliente.

Customer Requirements	Engineering Metrics									
	Cool Down Time (min)	Water temperature (C)	Cold Water Volume (gal)	Power consumption (W)	Width (in)	Height (in)	Depth (in)	Volume flow rate (gal/min)	MTBF (hrs)	Cost (\$)
Fast cool down	X									
Cold water		X								
High capacity			X							
Low energy usage				X						
Compact					X	X	X			
Fill cup quickly							X			
Reliable								X		
Low cost										X

(a)

Engineering Metrics	Components								
	Fan	Heat Sink	TEC	Power Supply	Chassis	Plumbing	Reservoir	Insulation	Fascia
Cool Down Time (min)	X	X	X	X					X
Water temperature (C)									
Cold Water Volume (gal)							X		
Power consumption (W)	X		X	X					
Width (in)					X				X
Height (in)									
Depth (in)					X				X
Volume flow rate (gal/min)						X	X		
MTBF (hrs)									
Cost (\$)		X		X	X		X		X

(b)

Figura 3.1 Esempio di matrice a) requisiti-metriche e b) metriche-componenti

Per ogni relazione metrica-componente si attribuisce un valore in base alla riprogettazione necessaria per adattare il componente alla variazione della metrica associata; ad esempio se un componente richiede una riprogettazione importante al variare della metrica ad esso associata si introduce nella matrice il valore nove. Per il calcolo del GVI si sommano i valori in colonna come mostrato in Figura 3.2.

Engineering Metrics	Components								
	Fan	Heat Sink	TEC	Power Supply	Chassis	Plumbing	Reservoir	Insulation	Fascia
Cool Down Time (min)	3	6	3	1			6	1	6
Water temperature (C)									
Cold Water Volume (gal)							9		
Power consumption (W)	1		3	3					
Width (in)					6				6
Height (in)									
Depth (in)					6				6
Volume flow rate (gal/min)						9	1		
MTBF (hrs)									
Cost (\$)		1		1	3		3		6
GVI	4	7	6	5	15	9	19	1	24

(a)

Rating	Description
9	Requires major redesign of the component (>50% of initial redesign costs)
6	Requires partial redesign of component (<50%)
3	Requires numerous simple changes (<30%)
1	Requires few minor changes (<15%)
0	No changes required

(b)

Figura 3.2 a) Matrice metriche-componenti e b) valori associati alla riprogettazione

Il CI si divide in due: il CI-R e il CI-S. Entrambi indicano quanto un componente è legato a un altro; il primo si riferisce al grado di informazioni ricevute dal componente e provenienti da altri componenti mentre il secondo al grado di informazioni fornite dal componente ad altri componenti.

Per il calcolo del CI si costruisce una matrice come quella in Figura 3.3.

Components SUPPLYING Information

	Fan	Heat Sink	TEC	CI-R
Components REQUIRING Information	Fan	Press resist 9 x dim 3 z dim 3	Heat output 3 x dim 1 z dim 1	20
	Heat Sink	Pressure curve 3 x dim 3 z dim 3	Heat output 3 x dim 3 z dim 3	18
	TEC	Heat sink cond 3 Effective HS area 3		6
	CI-S	9	21	14
				44

Rating	Description
9	Requires major redesign of the component (>50% of initial redesign costs)
6	Requires partial redesign of component (<50%)
3	Requires numerous simple changes (<30%)
1	Requires few minor changes (<15%)
0	No changes required

(a)

(b)

Figura 3.3 a) Matrice CI e b) valori di accoppiamento

In questo modo è possibile definire le relazioni che legano i componenti interni del prodotto e il grado di accoppiamento che vi è tra questi. Le relazioni tra i componenti sono rappresentate in funzione dei flussi di specifiche che vanno da un componente a un altro. A ogni specifica viene dato un peso come visto nel caso del GVI; ad esempio se una piccola modifica di una specifica influenza il componente ricevente allora a quella specifica si dà valore nove. Se una specifica non influenza il componente ricevente le si dà valore 0. È un indicatore della sensitività della specifica. Sommando i valori presenti in ogni casella, sia per le righe che per le colonne, si ottengono rispettivamente il CI-R e il CI-S.

Per rendere il prodotto in questione quanto più remunerativo e facile da gestire per l'azienda si cerca di standardizzare quanto più possibile e rendere modulare il resto.

Per standardizzare si devono ridurre il GVI/SVI e il CI-R che sono gli indici che rappresentano la "sensibilità" alla variazione del componente in seguito a variazioni esterne e interne. La totale standardizzazione prevede l'azzeramento dei due indici; condizione difficilmente raggiungibile. Il grado di standardizzazione di un componente è intuibile dai due indici; più sono elevati meno il componente sarà standardizzato.

Come detto prima ciò che non si può standardizzare si modularizza. La modularizzazione totale prevede l'azzeramento del CI-S. Quindi eliminare le informazioni che il componente passa agli altri; essere in grado di cambiare un

componente senza che questo vada a influire sul resto dell'architettura. Più il CI-S è elevato meno il componente è modularizzato.

La definizione dei due indici passa per la conoscenza del layout del prodotto; senza di questo risulta impossibile conoscere le relazioni tra componenti quindi come questi si scambiano informazioni e come le metriche sono legate ai componenti.

I metodi definiti dagli autori per poter ridurre gli indici sono gli stessi per entrambi e si può operare a livello di specifica e/o di componente.

A livello di specifica si seguono due strade:

- dissociare la specifica e il componente in questione;
- congelare la specifica.

La prima è possibile se andiamo a introdurre un componente che si faccia carico di quella specifica. Il secondo punto prevede che la specifica venga letteralmente bloccata. Quindi il componente rimane invariato ma non risponderà alle richieste di cambiamento avanzate dal cliente. In questo modo il componente non è influenzato da modifiche alle specifiche.

A livello di componente si può:

- ridurre l'accoppiamento interno al componente;
- incrementare la copertura del componente; andare cioè a "sovradimensionare" il componente.

Il primo punto prevede di staccare dal componente l'elemento associato dalla specifica. In questo modo sarà solo quello a cambiare e non tutto il sistema. Il secondo punto invece prevede di sovradimensionare il componente in modo che sia in grado di coprire tutta la variabilità della specifica richiesta dal mercato, attuale e futura.

Per riassumere, il sistema parte dalla definizione di ciò che richiede il cliente. Le richieste vengono poi tradotte in specifiche e vengono individuati i componenti del prodotto a cui sono legate. È quindi importante conoscere il prodotto e come è organizzato. Poi segue la definizione dei due indici GVI/SVI e CI e si procede alla loro minimizzazione per definire parti standard e moduli.

I componenti con GVI/SVI e CI-R pari a zero diverranno parti standard perché immuni al cambiamento esterno e interno. I componenti con CI-S pari a zero diventeranno moduli perché non influenzano altri componenti se vengono sostituiti.

I componenti che presentano gli indici non nulli non possono essere standardizzati o modularizzati; saranno componenti che inevitabilmente dovranno essere cambiati e che propagheranno il cambiamento. L'importante è cercare di minimizzare questo fenomeno il più possibile.

I componenti che hanno la priorità sono quelli con indici più alti e costi più alti; nella voce costi rientrano i costi di sviluppo e produzione. Ad esempio componenti con GVI e CI-R elevato e costo elevato sono componenti che nel lasso di tempo considerato per l'architettura saranno sicuramente soggetti a modifiche (elevato CI-R), saranno modifiche di una certa importanza (GVI) e la modifica sarà costosa (costo elevato).

Una volta definita la nuova architettura di prodotto si fa un'analisi di costo tra la vecchia e la nuova piattaforma.

3.2 Metodo 2: piattaforma di prodotto flessibile (*Flexible Product Platform*)

Il metodo, definito da Suh e pubblicato nel 2005, è stato supportato da General Motors. Quest'ultima si è recentemente interessata alla riduzione del numero di piattaforme utilizzate per i suoi modelli di auto. Con il progetto Vehicle Set Strategy l'azienda vuole passare dalle 26 piattaforme del 2016 a solo 4 tramite l'introduzione del concetto di piattaforma modulare (<http://gmauthority.com>).

Il metodo adottato si articola in 7 step principali. Le prime 4 fasi sono standard e una volta definite non vengono più riviste mentre a partire dallo step 5 si introduce un meccanismo iterativo. Se il risultato ottenuto nella fase finale 7 risulta soddisfacente si interrompe il ciclo; se invece il risultato non soddisfa le aspettative si deve tornare allo step 5 e ripete i passaggi successivi. Il ciclo continua fino a che la piattaforma ottenuta non da i risultati auspicati.

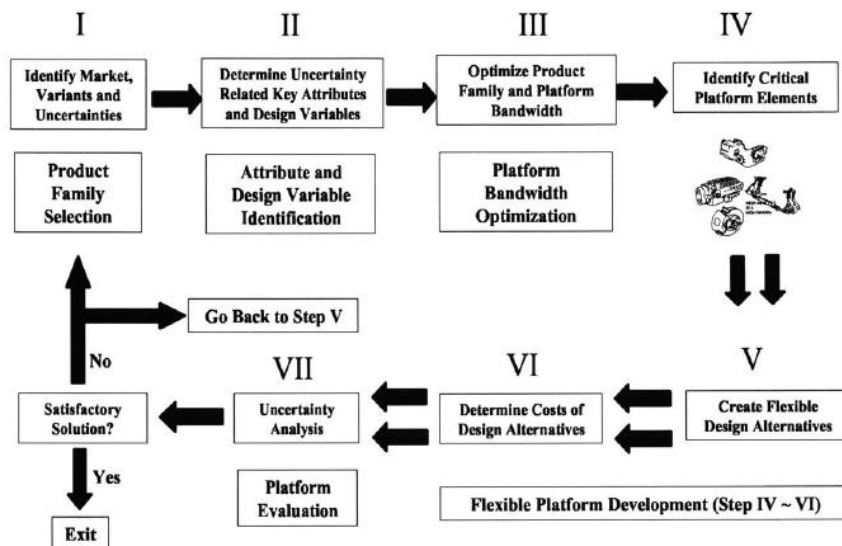


Figura 3.4 Metodo piattaforma flessibile

3.2.1 Step 1: identificazione del segmento di mercato, delle varianti e incertezze

In questa prima fase si vanno a definire il segmento o i segmenti di mercato che interessano il progetto e un set di varianti di prodotto. Infine si definiscono le incertezze associate al set di segmenti e/o di prodotto. L'individuazione delle incertezze è una delle fasi più importanti del metodo in quanto strettamente legate alla corretta definizione della flessibilità della piattaforma.

Il set di prodotti scelto potrebbe essere incluso tutto in un solo segmento oppure in segmenti diversi.

L'obiettivo del metodo è quello di far convergere in una sola piattaforma tutte le varianti di prodotto scelte; nel caso in cui i prodotti fossero troppo diversi risulterebbe impossibile farlo.

I segmenti di mercato, varianti di prodotto e incertezze possono essere definiti come:

$$\begin{aligned}
 M &= [M_1, M_2, M_3, \dots] \\
 P &= [P_1, P_2, P_3, \dots] \\
 U &= [U_1, U_2, U_3, \dots]
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

In particolare, il set di prodotti P può essere espresso come:

$$P = \begin{bmatrix} J_{A,1} & J_{A,2} & \dots & J_{A,n} \\ P_1 & P_2 & \dots & P_n \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Dove ogni singola colonna è una variante di prodotto. La singola variante è esprimibile come:

$$p_i = \begin{bmatrix} J_{A,i} \\ P_i \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Dove con il pedice i si indica l' i -esima variante di prodotto; J_A è invece il vettore degli attributi preferiti dall'acquirente mentre P è il prezzo della variante.

3.2.2 Step 2: determinazione degli attributi chiave associati all'incertezza e le variabili di progetto

Una volta individuati il segmento di mercato a cui fare riferimento, le varianti di prodotto e le incertezze si passa a definire gli attributi associati alle incertezze e le variabili di progetto associate a questi ultimi.

La (3.2) si può esprimere come:

$$P = \begin{bmatrix} J_{A,1}(X_{A,1}) & J_{A,2}(X_{A,2}) & \dots & J_{A,n}(X_{A,n}) \\ P_1 & P_2 & \dots & P_n \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$X_{A,i}$ è il vettore delle variabili di progetto associate al vettore degli attributi del prodotto i -esimo. Naturalmente nel caso in questione l'attenzione deve essere riposta non su tutti gli attributi di prodotto ma unicamente su quelli legati alle incertezze individuate allo step precedente. Quindi di tutti i J_A si vanno a selezionare solo quelli legati alle incertezze, cioè J_U , quindi $J_U \subset J_A$. E lo stesso vale per il vettore delle variabili di progetto; di tutte le X_A si prendono solo quelle associate alle incertezze definite cioè prendo X_U con $X_U \subset X_A$.

Matematicamente si esprime come:

$$J_U = f(\mathbf{X}_U) \quad (3.5)$$

È importante che gli attributi di un prodotto e quindi anche le variabili ad essi associate rimangano all'interno degli intervalli tipici del segmento di appartenenza di quel particolare prodotto.

3.2.3 Step 3: ottimizzazione famiglia prodotto e ampiezza variabilità variabili di progetto

L'obiettivo di ogni prodotto, inserito all'interno del proprio mercato di appartenenza, è quello di generare il massimo profitto. Quindi una volta definito l'intervallo di variabilità delle grandezze associate agli attributi si passa a individuare per quali grandezze si massimizza il reddito per un certo prodotto. Il metodo prevede la massimizzazione del reddito del set di prodotti che saranno legati alla nostra piattaforma cioè:

$$\sum_{i=1}^n R_{p_i}(J_{U,i}(\mathbf{X}_{U,i}), P_i) \quad (3.6)$$

Quindi bisogna individuare le variabili associate agli attributi, a loro volta legati alle incertezze, che massimizzano il reddito per un singolo prodotto. In questo modo per ogni prodotto del set P si vanno a individuare le variabili di progetto ottime; quelle che massimizzano il reddito per quel particolare prodotto.

Le variabili ottime di ogni prodotto definiscono così una banda di variabilità che la piattaforma deve essere in grado di coprire. In questo modo dalla piattaforma è possibile generare i singoli prodotti nelle loro configurazioni che garantiscono il massimo reddito.

Se la banda di variabilità risulta troppo ampia potrebbe essere difficile o addirittura impossibile coprirla con una sola piattaforma. Con una sola piattaforma ci sarebbe il rischio di lasciare fuori alcune varianti di prodotto.

Step 4: Identificare elementi critici piattaforma

Per la piattaforma è possibile coprire le bande delle variabili di progetto rendendo flessibili le parti fisiche associate a quelle variabili.

Prima di individuare le parti legate alle variabili di progetto associate all'incertezze Suh suggerisce di tracciare una DSM, Design Structure Matrix, che permette di definire in modo chiaro come i vari elementi del prodotto sono connessi tra loro.

È importante avere chiara questa relazione tra gli elementi prima di procedere oltre perché permette di:

- individuare con certezza l'elemento che dovrà presentare flessibilità
- controllare la propagazione agli altri elementi dato dall'introduzione della flessibilità sull'elemento individuato al punto precedente.

Quando si rendere flessibile un certo elemento della piattaforma si fa in modo che riesca a coprire quella che è la banda di variabilità evidenziata allo step precedente. Cioè è un elemento propenso a variare. Naturalmente l'elemento di una piattaforma è connesso ad altri elementi; si intuisce che una sua variazione porta a variazione anche degli elementi ad esso collegati. Questi a loro volta sono collegati ad altri elementi che dovranno adattarsi a cambiamento. Si verifica cioè una propagazione del cambiamento che il DSM evidenzia.

Come sottolineato da Suh ci sono anche delle variabili che tramite processo di ottimizzazione allo Step 3 potrebbero non presentare una banda di variabilità. Quindi basandosi unicamente su questo risultato la tendenza sarebbe di mantenere il componente che concretizza tale variabile fisso; in realtà ci potrebbe essere un vantaggio nel renderle flessibili se in grado di influenzare in modo importante in reddito o la quota di mercato. In altre parole dallo step 3 possono risultare variabili con ampiezza di banda pari a 0 o molto piccola. Prima di concludere che il componente associato a tale variabile non necessita flessibilità devo verificare la sua influenza su reddito e quota di mercato; magari in futuro, dato il suo peso, potrebbe rivelarsi utile rendere tale elemento flessibile.

Ritornando all'effetto propagatorio della variazione introdotto dalla flessibilità, Eckert et. al. (2004) individuano 4 modi differenti in cui gli elementi rispondo. A una variazione un elemento connesso all'elemento variante risponde diventando:

- Moltiplicatore (Multiplier) cioè genera più cambiamenti di quanti ne assorbe;
- Vettore (carrier); i cambiamenti che genera sono in numero pari a quelli in entrata;
- Ammortizzatori (absorber) rilasciano meno cambiamenti di quanti ne assorbono;
- Costante (constant) se non affetto dai cambiamenti.

Per definire la tipologia degli elementi Suh propone l'indice CPI, change propagation index. L'ispirazione per tale indice viene da gli indici CI (couplin index) e DVI (design variety index) proposti da Martin and Ishii.

Il CPI è un indice definito dalla formula:

$$CPI_i = \sum_{j=1}^{n_{out}} \Delta E_{out,j} - \sum_{k=1}^{n_{in}} \Delta E_{in,k} \quad (3.7)$$

Risulta una sottrazione tra la somma di tutti i cambiamenti in uscita da un elemento i e i cambiamenti in ingresso. Tali sommatorie sono somme di numeri binari. A seconda del risultato si avrà una delle quattro categorie di elemento definito sopra. In questa fase vengono anche attribuiti dei costi di variazione che sono i costi che si porta dietro il cambiamento, detti *switch cost*.

Sulla base del risultato di CPI e *SWITCH COST* ottenuti si possono fare 5 considerazioni:

1. I moltiplicatori sono gli elementi che richiedono maggior attenzione;
2. Studiare gli elementi collegati ai moltiplicatori;
3. Esaminare gli elementi vettore;
4. Esaminare gli elementi con alti switch cost;
5. Equilibrare il processo di eliminazione della propagazione e di riduzione dei costi.

Il tutto si può sintetizzare in 1) andare a trasformare i moltiplicatori in ammortizzatori o vettori rendendoli flessibili senza far salire troppo i costi e 2) riprogettare componenti ad alto switch cost in basso costo senza renderli moltiplicatori.

Step 5: Creazione di alternative con struttura flessibile

In questo step si introduce la flessibilità nei componenti, per coprire le bande di variabilità definite allo step 3 e per modificare i moltiplicatori in elementi che trasmettono meno cambiamento. Inoltre, si deve progettare cercando di ridurre lo switch cost.

La quantità di flessibilità che si deve introdurre è quella necessaria a coprire la banda di variabilità per quella particolare variabile. Inoltre potrebbe essere importante introdurla per variabili che, come già detto, possono influenzare reddito e quota di mercato.

La flessibilità deve essere introdotta sulla base delle seguenti considerazioni:

- la domanda iniziale della variante di prodotto nel set P;
- l'andamento della domanda della variante di prodotto nel set P;
- Il cambiamento di ogni variante di prodotto nel set P dovuto all'incertezza;
- Frequenza del cambiamento incerta.

Cioè introduco la flessibilità in base a quanto mi potrà essere utile. La flessibilità costa quindi devo essere in grado di rientrare delle spese date alla sua implementazione. I primi due punti tengono in considerazione il volume di vendita; maggiore sarà il venduto prima avrò un ritorno economico. Il terzo punto considera quanto profondamente l'incertezza influenza le specifiche di un prodotto. Il quarto punto invece considera la frequenza con cui l'incertezza cambia e quindi anche la frequenza con cui le specifiche dovranno cambiare.

Considerando tutto questo si passa alla generazione di più proposte di piattaforma. Il sistema sarà suddiviso in due parti: piattaforma, i moduli comuni e flessibili e parte unica, i moduli specifici per una sola variante di prodotto.

La suddivisione non è facile; si sa cosa si deve rendere flessibile e cosa cambierà in seguito a variazioni però la suddivisione ottimale del sistema nelle parti comuni, flessibili e uniche non è di facile determinazione.

Step 6: determinazione del costo delle alternative

I costi sono definiti considerando:

- investimento iniziale cioè i costi di realizzazione, assemblaggio, macchinari e utensileria varia;
- costo variabile che dipende dal volume produttivo di prodotti del set P;
- costo di cambiamento; cioè la somma degli *switch costs*. Se un'alternativa è più flessibile di un'altra allora questa voce sarà minore per la versione più flessibile.

Una volta definito il costo delle alternative generate si passa ad analizzarle dal punto di vista dell'incertezza allo step 7.

Step 7: analisi dell'incertezza

Le alternative generate vengono sottoposte a scenari a incertezza crescente. La loro risposta viene valutata tramite il beneficio previsto, che dipende dal valore presente netto espresso come:

$$E[NPV]_i = f(R_{T,i}, K_{init,i}, C_{total,i}, K_{switch,i}, U) \quad (3.8)$$

Questo a sua volta dipende da reddito totale legato alla famiglia, investimento di capitale iniziale, il costo totale variabile, il costo totale di switch.

Se nessuna delle alternative risulta soddisfacente sotto un determinato set di incertezze si torna allo step 5 dove si definiscono nuove alternative.

Questo metodo è il più completo tra quelli presentati e anche presenti in letteratura sulla definizione di una piattaforma modulare. Ogni fase è stata accuratamente spiegata dall'autore e, cosa rara, applicato a un prodotto complesso, come la piattaforma di un

auto. Il limite principale del metodo sta proprio nel contesto di applicazione per cui è stato sviluppato, cioè l'ambito automotive. Essendo sviluppato per il mercato dell'auto utilizza strumenti che sono tanto più precisi quanto più è ampio il database di dati storici. Per aziende medio-piccole che producono pochi pezzi/anno potrebbe risultare un sistema difficile da applicare nella sua interezza.

3.3 Metodo 3: ottimizzazione di una piattaforma modulare nella progettazione concettuale della carrozzeria di un veicolo tramite algoritmo modificato di scomposizione grafica e metodo dei costi (*Modular platform optimization in conceptual vehicle body design via modified graph-based decomposition algorithm and cost-based priority method*)

Il metodo proposto da Hou et al. (2016) è un metodo di ottimizzazione di piattaforma. Si propone di definire la migliore piattaforma in termini di prestazioni, facilità di assemblaggio e produzione. Per fare questo si parte dall'assemblato della piattaforma definito nella fase di progettazione concettuale. Da qui si applica il metodo di scomposizione grafica (*graph-based decomposition method*) per suddividere in moduli la piattaforma.

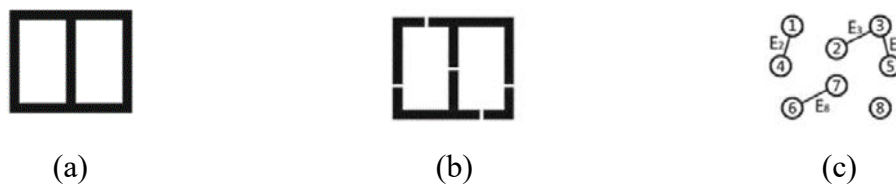


Figura 3.5 Esempio di scomposizione grafica: a) assemblato, b) scomposizione c) schematizzazione

Come mostrato in figura i vari elementi così generati sono uniti tra di loro tramite delle linee. Le linee indicano che gli elementi saranno prodotti come un componente integrale; se non presenti gli elementi saranno prodotti separatamente e poi saldati assieme. Le due tipologie di collegamenti sono espresse in forma binaria: 0 se saldati, 1 se integrati. Si crea un codice proprio della specifica scomposizione e si riesce così a definire una struttura ingegneristica sotto forma di modello matematico. Rappresentare

la struttura sotto forma di codice è utile per applicare l’algoritmo genetico; questo viene usato per organizzare la scomposizione in moduli puntando alla massimizzazione o minimizzazione di alcune funzioni scelte. I codici legati a una struttura che presenta caratteristiche ottimali vengono passati alla generazione successiva e così via. Lo schema iterativo è presentato in Figura 3.6.

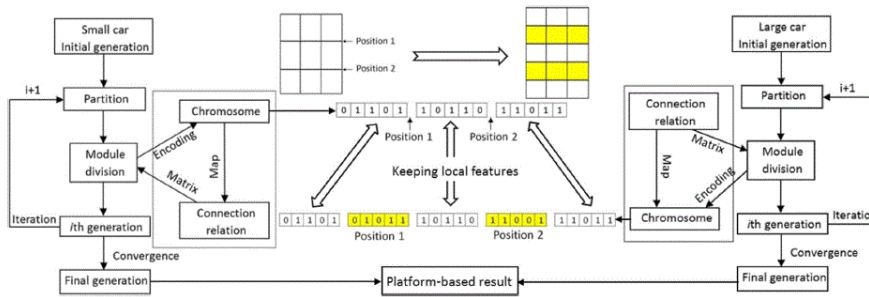


Figura 3.6 Schema algoritmo genetico

Nel caso in esame, il pianale di un’auto, vengono considerate la rigidezza, la producibilità e l’assemblabilità, tutti da massimizzare, e espresse rispettivamente in funzione della deformazione massima, dei costi dello stampo e dei punti di saldatura, tutti da minimizzare. Le soluzioni ottenute formano un set di Pareto e dopo aver definito il set ottimo di Pareto, cioè le configurazioni che presentano l’ottimo nelle funzioni definite sopra, si usa la teoria dell’insieme sfocato o “fuzzy set” per trovare la configurazione che rappresenta la miglior soluzione, cioè il miglior compromesso. Per farlo si valuta la funzione:

$$\mu^k = \frac{\sum_{i=1}^{N_{obj}} \mu_i^k}{\sum_{j=1}^{M_p} \sum_{i=1}^{N_{obj}} \mu_i^j} \quad (3.9)$$

Dove μ_i indica una funzione legata alla funzione obiettivo i -esima F_i nel set ottimo di Pareto e si esprime come:

$$\mu_i = \begin{cases} 1, & F_i \leq F_i^{min} \\ \frac{F_i^{max} - F_i}{F_i^{max} - F_i^{min}}, & F_i^{min} < F_i < F_i^{max} \\ 0, & F_i \geq F_i^{max} \end{cases} \quad (3.10)$$

Con F_i^{min} e F_i^{max} rispettivamente valore minimo e massimo della funzione obiettivo i -esima.

La configurazione che massimizza μ^k è quella che presenta il miglior compromesso tra le configurazioni del set ottimo.

Una volta stabiliti come sono legati tra di loro gli elementi e quindi risultano definiti anche i moduli si passa a definire la tipologia di modulo. Si richiama la definizione di moduli della piattaforma (Hou et al., 2016) e introdotta al paragrafo §2.2. I primi moduli che devono essere individuati sono quelli parametrizzati, cioè quelli associati a requisiti particolari. Sono quelli che vengono cambiati per adattare la piattaforma a un particolare prodotto. Sono quelli che nel resto della tesi vengono indicati come moduli flessibili. Segue poi la scelta dei moduli flessibili; questi sono i moduli che devono cambiare in modo che i requisiti di progetto richiesti alla piattaforma siano soddisfatti. Sono cioè quei componenti che devono limitare il cambiamento innescato dai moduli parametrizzati e mantenere i requisiti di progetto stabiliti in fase di pre-design.

Se la struttura non soddisfa i requisiti richiesti si torna allo step precedente e si ridefiniscono i moduli parametrizzati.

In Figura 3.7 viene mostrato in forma schematica le fasi del metodo di ottimizzazione.

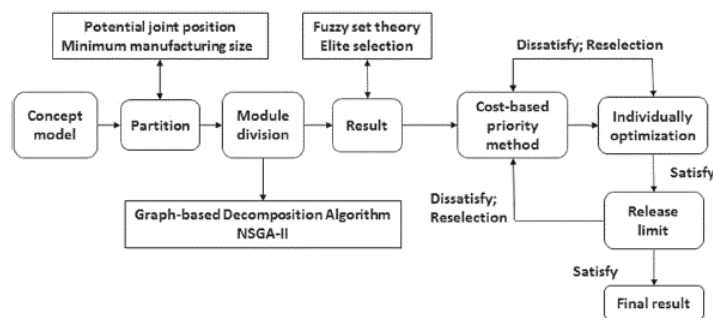


Figura 3.7 Schematizzazione metodo di ottimizzazione di una piattaforma

Il metodo permette di analizzare in tempi rapidi un elevato numero di configurazioni una volta definito la struttura del componente in fase di pre-design. Per poter far funzionare il sistema bisogna disporre del modello del componente che cambia a seconda della configurazione, connesso a sua volta con software di analisi strutturale e di costo. Il sistema fa della rapidità di analisi il suo punto di forza ma richiede la messa a punto, l'utilizzo e la conoscenza di risorse avanzate non alla portata di tutte le aziende.

Capitolo 4

Metodo scelto per la definizione della piattaforma modulare

In questo capitolo viene presentato il metodo scelto per definire la piattaforma modulare, che verrà applicato al capitolo § 5 al caso della macchina riempitrice RG50.

4.1 Il metodo

Il metodo scelto è stato definito a partire dai metodi presentati al capitolo § 3, risultando una combinazione delle fasi e degli strumenti messi a disposizione da questi. In particolare, la struttura del metodo si basa principalmente su quanto proposto da Suh (2005) e da Hou et al. (2016), ma sfrutta anche alcuni degli strumenti adottati da Martin e Ishii (2002). A partire da questi, per la definizione del nuovo metodo, si è adottato un approccio generalizzato e semplificato. Infatti, sia il metodo di Suh che quello di Hou et al. sono stati sviluppati e utilizzati in un contesto ben preciso: il settore automotive. Gli autori hanno creato i metodi avendo a disposizione una quantità di risorse e dati difficilmente replicabili in altri contesti. Dare un tono di generalità al metodo ha permesso di renderlo maggiormente indipendente dal tipo di applicazione e più facilmente calabile nei contesti più vari.

Il metodo proposto si articola in fasi, o *step*, similmente a quanto presentato da Suh. È possibile individuare 5 fasi principali come visibile in Figura 4.1.

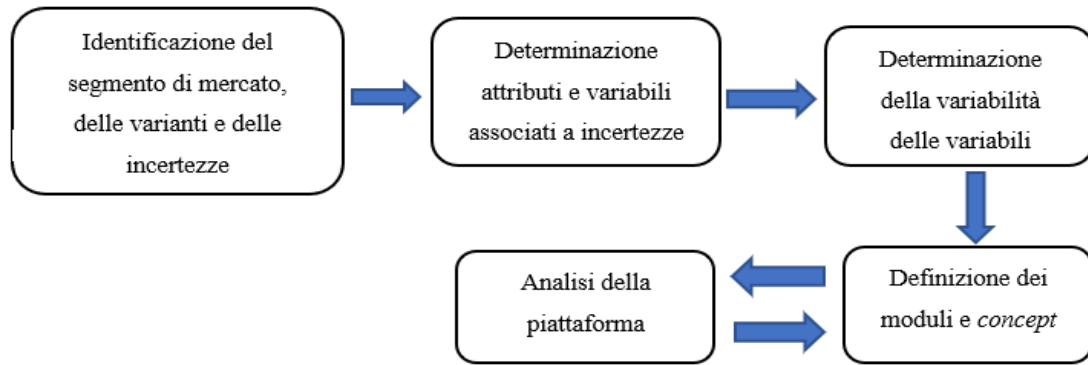


Figura 4.1 Rappresentazione schematica del metodo di definizione della piattaforma flessibile

Queste possono essere precedute da una pre-fase in cui si effettua una prima mappatura della struttura del prodotto di cui si vuole definire la piattaforma. La mappatura consiste nel definire i legami tra i vari gruppi funzionali del prodotto tramite matrice DSM, proposta da Suh (2005), o l'analoga ma più precisa matrice CI, proposta da Martin e Ishii (2002). È possibile in questa fase limitarsi alla sola DSM e svilupparla nelle fasi successive nella matrice CI, se necessario. Questa fase preliminare permette di rendere più chiari i rapporti che si instaurano all'interno del prodotto tra i vari gruppi funzionali. Come riportato da Martin e Ishii (2002) perché il metodo sia utilizzabile è importante conoscere la struttura del prodotto, cioè come i gruppi funzionali si legano l'uno con l'altro.

Le cinque fasi principali del metodo sono:

- Identificazione del segmento di mercato, delle varianti e incertezze
- Determinazione degli attributi chiave associati all'incertezza e delle variabili di progetto
- Determinazione della variabilità delle variabili di progetto
- Definizione dei moduli e *concept*
- Analisi piattaforma

Al termine dell'ultima fase, a seconda del risultato, la piattaforma viene approvata o deve essere riprogettata riportandola alla fase di definizione dei moduli e in seguito nuovamente analizzata. Se anche questa alternativa non è valida si deve definire un'altra variante della piattaforma. Di fatto si instaura un metodo iterativo nelle ultime due fasi

del metodo che termina solo quando la fase di analisi fornisce risultati soddisfacenti per l'azienda.

4.1.1 Identificazione del segmento di mercato, delle varianti e incertezze

Fase uguale allo *step 1* proposto da Suh. Lo scopo è definire il segmento o i segmenti di mercato che interessano il progetto e un set di varianti di prodotto. Questi saranno i segmenti e i prodotti con cui la piattaforma si dovrà confrontare. Il set di prodotti scelto può essere incluso in un solo segmento oppure in segmenti diversi. È importante che i prodotti scelti non siano troppo diversi l'uno dall'altro altrimenti la piattaforma rischia di fallire nel suo intento. Infine, si definiscono le incertezze associate al set di segmenti e/o di prodotto.

4.1.2 Determinazione degli attributi chiave associati all'incertezza e delle variabili di progetto

Fase simile allo *step 2* proposto da Suh. Vengono individuati gli attributi legati all'incertezza e da qui le variabili di progetto associate a questi ultimi. Gli attributi devono rispettare le specifiche del/dei segmento/i individuati in precedenza. Questa fase è particolarmente delicata, come anche la precedente, dato che definisce la direzione che il progetto deve prendere. Un errore potrebbe compromettere gravemente la buona riuscita del metodo.

In questa fase è possibile sfruttare la matrice DSM, o la più precisa CI, per visualizzare la propagazione del cambiamento causato dall'incertezza all'interno del prodotto. Questo permette di comprendere come i gruppi funzionali del prodotto reagiscono al cambiamento e utilizzando la matrice CI anche entità della reazione, quindi la loro sensibilità. I gruppi che sono maggiormente influenzati dal cambiamento sono anche quelli che devono essere tenuti sotto controllo con più attenzione. L'utilizzo delle matrici facilita l'individuazione delle variabili di progetto, che saranno le grandezze che varieranno nei componenti più mutevoli.

Nel caso in cui il prodotto sia semplice o comunque i legami tra le sue parti facilmente intuibili l'utilizzo di questi strumenti potrebbe non essere necessario.

4.1.3 Variabilità delle variabili di progetto

Anche questa fase è simile a quanto presentato da Suh. L'obiettivo principale di questo step è l'individuazione del range di variabilità delle variabili definite al punto precedente. A seconda del tipo di prodotto e delle variabili in gioco possono cambiare i sistemi per definire questo intervallo di variabilità. Nel caso proposto da Suh (2005) sono stati individuati i valori ottimi delle variabili e a partire da questi sono state definite delle bande in grado di contenerli. I valori ottimi sono i valori che massimizzano il reddito. Questo tipo di approccio è possibile nel caso in cui si disponga di un'elevata quantità di dati e di strumenti avanzati, quali simulatori di mercato. Se questa strada non fosse percorribile si deve seguire un approccio più pragmatico e basato maggiormente sulla conoscenza diretta del prodotto. A seconda di quello che il cliente richiede o l'azienda vuole proporre è possibile definire gli estremi di tale banda di variabilità; sempre prestando attenzione a non andare oltre le specifiche di prodotto proprie del/dei segmento/segmenti scelti al primo passo del metodo. Come si vedrà al capitolo §5, nel caso in esame le bande sono state definite studiando il layout del prodotto. Il layout nasce da ciò che l'azienda ha deciso di proporre al cliente sulla base del tipo di macchina e del segmento di mercato di appartenenza.

4.1.4 Definizione dei moduli e concept

Lo scopo di questa fase è quello di individuare i moduli che definiscono la piattaforma e ne concretizzano la flessibilità, cioè garantiscono la banda di variabilità. Si parte dai componenti maggiormente influenzati dall'incertezza per individuare la piattaforma flessibile. Questi vanno suddivisi in moduli per cercare di limitare l'effetto del cambiamento provocato dall'incertezza. I moduli potranno essere: comuni o standard, unici e flessibili. A questi si attribuisce lo stesso significato dato da Suh (2005). I moduli standard sono quelli comuni a tutti i modelli derivati dalla piattaforma, quelli unici saranno specifici di un solo modello, mentre quelli flessibili renderanno possibile la flessibilità della piattaforma. I moduli comuni sono quelli che concorreranno a creare la piattaforma vera e propria come da definizione. Quelli unici e flessibili varieranno a seconda del modello. La suddivisione dei moduli è a discrezione del progettista che

deve essere in grado di implementare la flessibilità senza inficiare la qualità del prodotto e limitare la propagazione del cambiamento. Nel caso in esame la definizione dei moduli è stata attuata ricorrendo a un approccio di standardizzazione dei gruppi funzionali legati al telaio.

Una volta fatto questo si passa alla definizione del *concept* della piattaforma, cioè una sua rappresentazione di massima, rispettando la suddivisione in moduli. Per fare questo si può utilizzare un software di progettazione solida che rendendo visibile la piattaforma permette di avere un'idea più chiara di come apparirà il prodotto. Il *concept* si rivela particolarmente utile se come strumento di analisi della piattaforma verranno utilizzati simulatori software.

4.1.5 Analisi della piattaforma

In questo ultimo *step* viene effettuata un'analisi per verificare la qualità del lavoro fin qui svolto. L'analisi costi/benefici proposta da Suh (2005) è sicuramente lo strumento più preciso per valutare la piattaforma. È applicabile a tutti i prodotti ma è anche molto complessa da sviluppare, considerata la quantità di dati richiesta. Per definire i costi si devono considerare l'investimento iniziale, i costi variabili e i costi del cambiamento per ogni piattaforma concepita (Suh, 2005), mentre i benefici sono rappresentati dalla capacità della piattaforma di adattarsi ad un ambiente incerto. Definire questi due valori, in particolare il secondo, non è alla portata di molte aziende. Il problema può essere risolto basandosi su un'analisi costi/ benefici semplificata, variando l'approccio caso per caso, cioè prodotto per prodotto. Una semplice analisi dei costi necessari a realizzare una piattaforma è possibile per tutte le aziende; a questa si può associare una seconda analisi, quella dei benefici, che varia in base al prodotto e alla piattaforma in esame. Naturalmente si deve individuare il sistema di valutazione più adatto. Come si vedrà al capitolo successivo, per il caso affrontato è stata scelta come strumento di analisi una simulazione strutturale statica. La generazione di un *concept* di massima è fondamentale per questo tipo di approccio che di fatto richiede un modello fisico della piattaforma. Questa scelta è stata possibile considerato il particolare caso in esame. Trattandosi di una piattaforma costituita dal telaio della macchina si è utilizzato il sistema di analisi proposto da Hou et al (2016) che affrontano un caso simile nel loro lavoro. Naturalmente rispetto a quest'ultimo metodo è stata trascurato il sistema di

generazione automatica dei *concept* suddivisi in moduli e di valutazione degli stessi a causa della summenzionata mancanza di dati e risorse.

Nel caso in cui i risultati dell'analisi non siano quelli auspicati è necessario ritornare alla fase di definizione della piattaforma in moduli e generare una nuova piattaforma da sottoporre a ulteriore analisi.

Capitolo 5

Caso Studio: RG50 Galdi

In questo capitolo viene presentato il caso studio Rg50, macchina riempitrice Galdi. La teoria riportata nei capitoli precedenti viene usata come base per definire e valutare l'architettura del gruppo telaio.

5.1 Le macchine Galdi

Galdi è un'azienda, fondata da Galdino Candiotta più di 30 anni a Montebelluna, che progetta e produce macchine riempitrici per il settore alimentare. La prima macchina riempitrice viene sviluppata nel 1970 per poter supportare la produzione della piccola latteria di famiglia. Da allora l'azienda è cresciuta e negli anni ha sviluppato macchine riempitrici non solo per il latte, ma anche per succhi, vino, yogurt, uova e alimenti secchi, quali spezie e farine. Le macchine attualmente in produzione sono le macchine della famiglia RG, riempitrici Galdi.

5.1.1 Le riempitrici RG

Le macchine RG sono riempitrici automatiche per la formatura, riempimento e sigillatura dei cartoni gable top. I gable top, letteralmente “cima a timpano” per via della forma caratteristica della parte superiore come si vede in Figura 5.1, sono tra i cartoni più utilizzati per il riempimento di latte e succhi. Vengono riconosciuti erroneamente come “cartoni Tetrapak” quando in realtà Tetrapak è solo uno dei tanti produttori di questo tipo di cartone. Il primo cartone *gable top* in realtà è stato brevettato nel 1915 da un americano, John Van Wormer, con il nome Pure Pak (www.econocorp.com). Ad oggi in Europa è solo l'azienda Elopak che può usare il nome commerciale Pure Pak, mentre Tetrapak chiama Tetra Rex il suo cartone *gable top*.



Figura 5.1 Cartone gable top Purepak (www.elopak.com)

Galdi al momento si sta concentrando unicamente sulle macchine per gable top, ma in passato si è occupata del riempimento anche di altri formati contenitore, come ad esempio i vasetti per yogurt. La scelta di focalizzarsi sulle RG è stata presa per permettere all'azienda di raggiungere la qualità desiderata per i suoi prodotti, difficile se non impossibile da ottenere mantenendo a catalogo serie di macchine in grado di gestire più tipologie di contenitore.

La famiglia RG è costituita dalle macchine RG21, RG50, RG250 e RG270. Attualmente vengono progettate e prodotte solo macchine della serie RG50 e RG270. La prima è una macchina a bassa capacità produttiva che fa dell'economicità il suo punto di forza, mentre la seconda è per i clienti che vogliono elevata produttività e migliori performance in generale. La qualità costruttiva è la stessa, elevata in entrambi i casi. Tutte le macchine Galdi sono costruite quasi interamente in acciaio inox per garantire elevati standard igienici oltre a contribuire a trasmettere un senso di solidità, pulizia e qualità elevata del prodotto in generale. L'acciaio inox è stato scelto per le particolari condizioni di lavoro a cui sono sottoposte le macchine, cioè contatto continuo con il prodotto e con i liquidi di lavaggio. Le due macchine, sebbene destinate a clienti diversi, sono accumulate dall'alta configurabilità. Entro certi limiti il cliente può scegliere i gruppi funzionali presenti nella macchina, quindi le funzioni che sarà in grado di eseguire, e soprattutto la tipologia di cartone gable top. Quindi sulla base della capacità produttiva e delle funzioni che richiede, il cliente viene indirizzato su un certo tipo di prodotto a cui potrà aggiungere optional, gruppi funzionali non essenziali al funzionamento della macchina e soprattutto sarà libero di utilizzare la tipologia di cartone preferita. I cartoni gable top si differenziano l'uno dall'altro per tanti aspetti che

finiscono per influenzare profondamente i gruppi funzionali della macchina a contatto con essi. Possono variare sulla base del tipo di piegatura, A-style o B-style, della sezione di base e della forma. La libertà che viene data al cliente riguardo la scelta dei gruppi da introdurre in macchina e sul cartone da utilizzare crea un grado molto elevato di varietà di prodotto. Questa si traduce nella necessità di riprogettare la macchina oggetto della commessa poiché spesso diversa da quelle precedenti.

In Tabella 5.1 sono riportate tutte le configurazioni di macchina possibili, basandosi unicamente sulle caratteristiche evidenziate dal nuovo sistema di nomenclatura commerciale delle macchine. Questo considera solamente la sezione del cartone, la tecnologia di riempimento e *shelf life*, la vita a scaffale del prodotto. Le sezioni cartone sono 57x57 (MINI, M), 70x70 (STANDARD, S), 70x95 (RETTANGOLARE, R), 91x91 (2 LITRI, 2) e 95x95 (X). La tecnologia di riempimento può essere a flussimetri (F) o a DDF (D, *double diaphragm filler*). Infine, *shelf life* si differenzia sulla base del tempo che un prodotto può trascorrere a scaffale. Una vita a scaffale fino a sette giorni è indicata con Fresh (FR), fino a 14 con Clean (CL), fino a 21 Ultraclean (UC), fino a 12 mesi Hot Fill (HF) e Warm fill (WF), che varia in base al tipo di prodotto. Questo sistema di nomenclatura è un sistema puramente commerciale che tiene conto solo di alcuni aspetti della macchina, quelli più importanti per il reparto vendite. Se si considerano tutte le variabili il numero di macchine realizzabile sale ulteriormente. In Tabella 5.1 sono evidenziate in verde tutte le configurazioni già progettate e commercializzate.

Ognuno dei modelli presentato in Tabella 5.1 avrà più varianti a seconda della forma del cartone, della tipologia di piegatura e dei gruppi funzionali che verranno usati. Ad esempio, una RG50 SFUC è già stata progettata ma un nuovo cliente potrebbe richiedere la stessa macchina con qualche piccola differenza che si traduce in una parziale riprogettazione della stessa. Le configurazioni in Tabella 5.1 riportate sono tutte quelle possibili ma alcune di queste non sono attualmente realizzabili sia dal punto di vista tecnico, richiedono degli studi, che commerciale, non hanno mercato.

Tabella 5.1 Possibili configurazioni della a) Rg270 e b) Rg50

RG270										
	RG270 DDF (D)					RG270 Flussimetri (F)				
	FR	CL	UC	WF	HF	FR	CL	UC	WF	HF
M	MDFR	MDCL	MDUC	MDWF	MDHF	MFFR	MFCL	MFUC	MFWF	MFHF
S	SDFR	SDCL	SDUC	SDWF	SDHF	SFFR	SFCL	SFUC	SFWF	SFHF
Z	ZDFR	ZDCL	ZDUC	ZDWF	ZDHF	ZFFR	ZFCL	ZFUC	ZFWF	ZFHF
X	XDFR	XDCL	XDUC	XDWF	XDHF	XFFR	XFCL	XFUC	XFWF	XFHF
R	RDFR	RDCL	RDUC	RDWF	RDHF	RFFR	RFCL	RFUC	RFWF	RFHF

(a)

RG50										
	RG50 DDF					RG50 Flussimetri				
	FR	CL	UC	WF	HF	FR	CL	UC	WF	HF
M	MDFR	MDCL	MDUC	MDWF	MDHF	MFFR	MFCL	MFUC	MFWF	MFHF
S	SDFR	SDCL	SDUC	SDWF	SDHF	SFFR	SFCL	SFUC	SFWF	SFHF
Z	ZDFR	ZDCL	ZDUC	ZDWF	ZDHF	ZFFR	ZFCL	ZFUC	ZFWF	ZFHF
X	XDFR	XDCL	XDUC	XDWF	XDHF	XFFR	XFCL	XFUC	XFWF	XFHF
R	RDFR	RDCL	RDUC	RDWF	RDHF	RFFR	RFCL	RFUC	RFWF	RFHF

(b)

Le macchine riempitrici Galdi possono essere suddivise in quattro gruppi principali in base alle funzioni primarie svolte:

1. gruppo preparazione del cartone, quindi le operazioni di prelievo dal magazzino, di piegature, formatura e sigillatura;
2. gruppo trasporto;
3. gruppo dosatore;
4. gruppo finale. Chiusura cartone e trasporto verso l'uscita.

Tutte le macchine riempitrici presentano questi macro-gruppi funzionali. Naturalmente le funzioni della macchina sono molte di più; queste sono quelle essenziali per il corretto funzionamento della macchina.

5.2 Riempitrice RG50

L'RG50 è una macchina riempitrice automatica progettata per formatura, riempimento e sigillatura in linea dei cartoni *gable top*. Sulla linea viene lavorato un solo cartone per volta a differenza delle macchine più grandi, come la RG270, che ne lavorano due. La RG50 attuale è in grado di produrre fino a 3000 cartoni/ora. L'unico sistema di riempimento utilizzato fino ad oggi su questo tipo di macchine è quello a flussimetri, in

grado di coniugare efficienza e convenienza. È più economico di quello a pistoni o DDF (*double diaphragm filler*) ma riesce comunque a garantire buona precisione di riempimento. L' RG50 è una macchina studiata per le piccole aziende, sia per le sue dimensioni contenute che per le sue capacità produttive medio-basse. Infatti molto spesso le aziende che commissionano una 50 sono piccole latterie o aziende che non richiedono prestazioni elevate dalla loro riempitrice. I mercati che assorbono quasi del tutto la richiesta di RG 50 sono quello russo e africano, in particolare Nord Africa.



Figura 5.2 RG50

Come riportato al paragrafo §5.1 uno dei punti di forza della serie RG è quello di poter gestire un elevato numero di formati cartone. La RG50 può lavorare cartoni con cinque differenti sezioni trasversali e capacità di riempimento che spaziano dai 250ml fino ai 2000ml. Questo significa che in fase di definizione della macchina possono essere contemplati tutti i formati cartone, ma una volta definita e costruita potrà lavorare una sola sezione cartone. L'unica flessibilità sarà data dalla possibilità di regolare in altezza i gruppi funzionali per poter usare cartoni più alti, ottenendo maggiori volumi di riempimento a parità di sezione cartone. Per accogliere tutte le sezioni cartone l'azienda

ha dotato le sue macchine di due passi differenti: 101,6 mm e 127 mm. Il passo è la distanza che separa una stazione dalla successiva. Le stazioni sono le fermate del cartone lungo il percorso tracciato dalla sua movimentazione in macchina. Ad ogni stazione corrisponde una certa fase come ad esempio la pressatura del fondo cartone, la disinfezione, il riempimento ecc. Il passo 101,6 permette di accogliere cartoni di sezione 57x57, 70x70 e 70x95. Il passo 127 viene usato per i cartoni di sezione 91x91 e 95x95. Una volta stabilito il formato cartone anche il passo macchina sarà definito.

Le macchine presentano una grande flessibilità intesa come possibilità di accettare dal cliente cartoni di diversa sezione trasversale, come già detto sopra, e di forma variabile. Questa flessibilità se da un lato viene incontro al cliente, adattandosi alle sue richieste, dall'altro porta a minore efficienza rispetto a macchine specializzate su un numero limitato di formati. Le aziende concorrenti che costruiscono le riempitrici attorno a un determinato tipo di cartone riescono a ottenere maggiore produttività ma offrono minore scelta al cliente.

Premesso questo si può intuire la varietà esterna elevata della RG50 e a questa è direttamente associata anche un'elevata varietà interna. Ciò si traduce in difficoltà nel gestire gli ordini in quanto ogni commessa spesso e volentieri è diversa dalla precedente.

La Figura 5.3 mostra l'RG50 attuale, completa di tutte le stazioni previste. Il numero massimo di stazioni è 32.

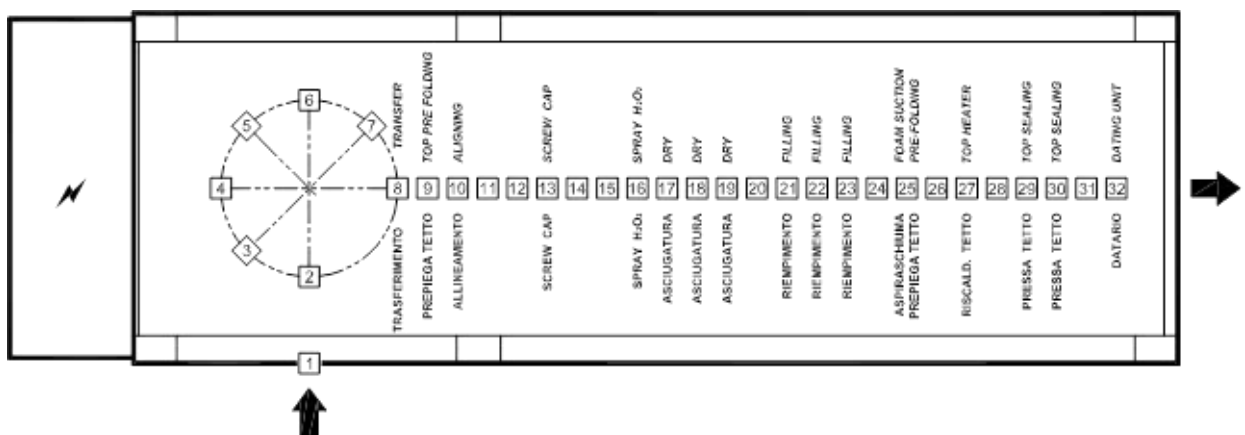


Figura 5.3 Layout attuale RG50

Le stazioni presenti nella RG50 attuale completa sono:

1. **Magazzino cartone:** dove vengono caricati i cartoni;
2. **Inserimento su mandrino:** il cartone viene prelevato dal magazzino, aperto e inserito sul mandrino rotante;
3. **Riscaldatore del fondo 1:** scalda il fondo per attivare la chiusura del fondo;
4. **Riscaldatore del fondo 2:** scalda il fondo per attivare la chiusura del fondo;
5. **Pre-piegatura fondo:** il fondo viene piegato per facilitarne la chiusura successiva;
6. **Chiusura fondo:** chiusura fondo applicando pressione;
7. **Libera:** stazione in cui non viene svolta nessuna funzione attiva ma è necessaria per garantire il corretto funzionamento della macchina o per ragioni di ingombro dei gruppi funzionali;
8. **Trasferimento cartone:** il cartone viene prelevato dal mandrino e posizionato sulla catena di trasporto;
9. **Pre-piegatura tetto:** il tetto del cartone viene piegato per facilitarne la chiusura successiva;
10. **Allineamento cartone:** il cartone viene allineato con la rotaia;
11. **Libera;**
12. **Libera;**
13. **Applicatore tappi (opzionale):** il tappo viene applicato sul cartone;
14. **Libera;**
15. **Libera;**
16. **Disinfezione:** viene spruzzato H₂O₂ (perossido di idrogeno) nel cartone;
17. **Asciugatura:** aria calda sterile viene soffiata nel cartone per eliminare umidità e tracce di perossido;
18. **Asciugatura:** aria calda sterile viene soffiata nel cartone per eliminare umidità e tracce di perossido;
19. **Asciugatura:** aria calda sterile viene soffiata nel cartone per eliminare umidità e tracce di perossido;
20. **Libera;**
21. **Fase riempimento 1:** la prima porzione di volume viene introdotta nel cartone;
22. **Fase riempimento 2:** la seconda porzione di volume viene introdotta nel cartone;
23. **Fase riempimento 3:** la terza porzione di volume viene introdotta nel cartone;

24. Libera;

25. Aspirazione schiuma e pre-piegatura tetto: la schiuma formatasi durante il riempimento viene aspirata; il cartone viene pre-piegato per facilitarne la chiusura del tetto;

26. Libera;

27. Riscaldatore tetto: aria calda viene soffiata sul cartone per attivare la chiusura del tetto;

28. Libera;

29. Chiusura tetto: il tetto viene chiuso tramite applicazione di pressione;

30. Chiusura tetto: il tetto viene chiuso tramite applicazione di pressione;

31. Libera;

32. Stampaggio data (optional): stampaggio data di produzione sul cartone;

Infine, i cartoni vengono scaricati dalla macchina e trasferiti sulla linea di trasporto. Da qui poi verranno caricati in pallet pronti per il trasporto. Le stazioni indicate come optional sono quelle non essenziali al funzionamento della macchina e introdotte solo su richieste dal cliente. Se non presenti in macchina la stazione corrispondente rimarrà vuota.

Da settembre 2019 è partito lo sviluppo della nuova RG50. La volontà è di rinnovare la vecchia macchina mantenendo alcuni degli elementi che l'hanno caratterizzata, quali compattezza e capacità produttiva. Il rinnovo consiste nell'ampliare la possibilità di scelta offerta al cliente introducendo soluzioni tecniche fino ad ora usate solo su macchine di segmento più elevato. In questo modo anche la piccola azienda avrà la possibilità di accedere a un prodotto più completo e tecnologicamente più avanzato. Questo nuovo approccio porta ad un aumento della variabilità del prodotto difficile da gestire come in passato.

5.2.1 Definizione della nuova RG50

L'azienda, in fase di definizione del prodotto ha stabilito quelli che si possono definire a tutti gli effetti dei vincoli, gli estremi dell'intervallo di configurazioni che la nuova RG50 può presentare. Ad uno degli estremi corrisponde la configurazione base, la più economica: una macchina costituita dai gruppi funzionali strettamente necessari.

All'altro estremo opposto si trova la configurazione più completa e costosa. All'interno di questo intervallo si sviluppano tutte le configurazioni di RG50.

Per la definizione del prodotto sono state considerati i seguenti aspetti:

- Gestire la lavorazione almeno dello stesso numero di cartoni della macchina precedente;
- Garantire almeno le stesse funzioni della macchina precedente;
- Presentare la possibilità di svolgere le funzioni con differenti tecnologie.

I primi due punti indicano la volontà di tramandare le caratteristiche della vecchia RG50 alla nuova macchina, mantenendo la possibilità di gestire più formati cartone e di introdurre nuove funzioni. Il terzo punto invece manifesta la volontà di introdurre varianti della stessa funzione, possibili grazie a diverse tecnologie; ad esempio per la dosatura poter usare DDF o flussimetri. L'azienda vuole che la nuova macchina presenti le stesse caratteristiche della vecchia ma che possa andare oltre, accogliendo più tipi di cartone e più funzioni svolte con diverse tecnologie.

Il risultato di questa definizione di prodotto è l'aumento della varietà dello stesso. Si vuole che il prodotto sia in grado di sostenere sia una certa variabilità spaziale che generazionale, usando le parole di Martin e Ishii (2002). I valori assunti dalla variabilità spaziale e generazionale devono essere limitati in quanto sarebbe impossibile definire un prodotto in grado di accogliere valori infiniti per entrambe. Nel caso particolare della RG50 Galdi le due varietà sono definite e limitate dal particolare tipo di approccio adottato dall'azienda per delineare la macchina. Come riportato sopra, è vero che la macchina deve essere in grado di accogliere nuovi formati cartone, nuove funzioni e modi differenti per svolgere le stesse ma è pur vero che nella RG 50 verrà introdotto solo e soltanto quello che è già stato sviluppato per le altre macchine della famiglia fino ad ora. La RG50 non sarà una macchina in cui l'azienda introdurrà nuove funzioni o tecnologie, se non prima di averle testate con successo su altre macchine. Quindi la variabilità spaziale e generazionale che la RG50 dovrà affrontare sarà osservabile da quanto presente nelle altre macchine RG. Da questo punto di vista svolgono un ruolo importante le macchine più prestazionali della Galdi, dato che in queste è possibile osservare soluzioni che in futuro potrebbero essere usate per la 50. Al riguardo si menziona la macchina NGRG, New Generation RG, macchina sviluppata per Tetrapak e usata come banco prova per molte nuove soluzioni tecniche. La macchina ha

rappresentato e rappresenta tutt'ora una grossa sfida per l'azienda proprio in virtù delle molte innovazioni introdotte. Sarà menzionata altre volte in questo lavoro perché ha rappresentato per l'azienda un primo passo nella direzione adottata per lo sviluppo della nuova RG50.

5.3 La piattaforma RG50

Date le premesse riportate al paragrafo § 5.2.1 è intuibile come l'azienda si trovi ad affrontare un elevato livello di variabilità, incrementato ulteriormente dalle ambizioni di questo nuovo progetto. Per risolvere il problema è di fondamentale importanza eseguire uno studio sull'architettura del prodotto. In particolare si decide di intraprendere un percorso simile a quanto fatto dalle aziende automobilistiche e riportato al capitolo §2. La volontà dell'azienda è definire una piattaforma in grado di limitare le complessità derivanti dall'incrementata varietà, senza andare a penalizzare eccessivamente quest'ultimo aspetto. Si decide di studiare un modo per implementare una piattaforma modulare flessibile nel prodotto.

È stato deciso di basarsi sul metodo proposto da Suh (2005), concentrandosi sulle fasi presentate nei primi 5 step e poi valutare l'architettura concepita facendo un'analisi, non dei costi, ma di deformazione e tensionale, come fatto da Hou et al. (2016). Del metodo di Martin e Ishii (2002) vengono utilizzati alcuni degli strumenti proposti dagli autori, per comprendere la struttura attuale della macchina. L'analisi dell'incertezza è stata trascurata perché troppo oneroso in termini di tempo e risorse. La macchina dovrà infatti essere presentata a fine 2019.

Le tre fasi iniziali coincidono con i primi tre *step* presentati da Suh (2005) nel suo lavoro. Quindi la fase di definizione delle incertezze, degli attributi ad esse associati e le variabili in gioco sono presenti anche in questo metodo, con una differenza. Prima di questi tre passi è stata fatta un'analisi della macchina attuale con la matrice DSM utilizzata da Suh (2005). In questo modo è stato possibile comprendere quali siano le relazioni tra i vari gruppi funzionali della macchina. Questa fase, oltre a essere utile inizialmente per farsi una prima idea generale della situazione presente, permette di intuire la direzione che si dovrà intraprendere; negli step successivi si partirà da quanto evidenziato in questa prima fase per sviluppare un'analisi più approfondita. Si procede

poi a definire l'architettura con le sue parti comuni, uniche e flessibili. Il risultato ottenuto viene analizzato al passo successivo con delle analisi strutturali.

Prima di procedere all'esposizione del metodo in dettaglio, come anticipato, è stata compilata una matrice DSM, *design structure matrix*. Questa permette di comprendere preliminarmente come i gruppi funzionali della RG50 siano legati tra loro attraverso la propagazione del cambiamento. Se la modifica di un gruppo funzionale comporta la modifica di un altro gruppo allora questa relazione viene indicata con un 1; se non vi sono relazioni lo spazio viene lasciato vuoto.

Tabella 5.2 Matrice DSM della RG50

DSM	Struttura	Magazzino Cartoni	Formatore Cartoni	Saldatura Fondo	Trasporto	Gestione Tappo	Disinfezione Cartoni	Dosatore	Saldatura Tetto	Lavaggio Esterno	Trattamento Aria Interno Macchina	Impianti	Azoto	Datario	Cambiamento ricevuto
Struttura	1														13
Magazzino Cartoni		1													2
Formatore cartoni			1												2
Saldatura fondo				1											2
Trasporto					1										2
Gestione tappo						1									2
Disinfezione cartoni							1								4
Dosatore								1							2
Saldatura tetto									1						2
Lavaggio esterno										1					2
Trattamento aria interno macchina											1				2
Impianti					1	1	1			1		1	1	1	8
Azoto												1	1		2
Datario												1			2
Cambiamento propagato	13	1	1	1	3	2	2	2	1	2	2	13	2	2	
CPI	0	-1	-1	-1	1	0	-2	0	-1	0	0	5	0	0	

Come si può osservare dalla Tabella 5.2, i gruppi funzionali che ricevono e emettono più cambiamento sono la struttura e gli impianti. Di questi il gruppo impianti è anche un moltiplicatore, cioè in grado di trasmettere più cambiamento di quanto ne riceve. Sicuramente è un gruppo a cui si deve prestare attenzione. La struttura invece è un gruppo che riceve e emette la stessa quantità di cambiamento quindi è un vettore;

sebbene non sia un moltiplicatore necessita anche questa di attenzione dato il grande numero di gruppi legati ad essa.

5.3.1 Identificazione delle incertezze

Da interviste al personale dell'ufficio tecnico, degli acquisti e del commerciale dell'azienda, l'incertezza principale legata al prodotto RG50 è stata individuata nel tipo di domanda. Con tipo di domanda si intende il tipo di configurazione che verrà richiesta per la macchina. Come ripetuto più volte la varietà di prodotto prevista per questa macchina è più elevata che per quella vecchia, quindi ci sarà una maggiore incertezza sul tipo di configurazione che richiederà il cliente al momento dell'acquisto

5.3.2 Determinazione degli attributi chiave associati all'incertezza e delle variabili di progetto

Il principale attributo associato all'incertezza individuata è la configurazione prodotto. A sua volta questo attributo si può vedere come costituito da due sotto-attributi. Questi sono i gruppi funzionali che il cliente vorrà introdurre in macchina e il tipo di cartone utilizzato. La macchina infatti nella sua configurazione può dirsi dipendente dal tipo di funzioni che si vuole che svolga e dal tipo di cartone. Quest'ultimo aspetto va a influenzare direttamente i gruppi funzionali che si interfacciano con il cartone, mentre le modifiche dei gruppi funzionali e la loro presenza o meno, si traduce in una modifica dell'aspetto della macchina, assorbito prevalentemente dal gruppo funzionale struttura. Quanto detto si può ritrovare nella Tabella 5.3 che altro non è che la matrice degli indici di accoppiamento, CI, introdotta da Martin e Ishii (2002) e una versione più dettagliata della matrice DSM presentata nella Tabella 5.2.

Tabella 5.3 Matrice degli indici di accoppiamento

CI	Struttura	Magazzino Cartoni	Formatore Cartoni	Saldatura Fondo	Trasporto	Gestione Tappo	Disinfezione Cartoni	Dosatore	Saldatura Tetto	Lavaggio Esterno	Trattamento Aria Interno Macchina	Impianti	Azoto	Datario	CI-R
Struttura		Peso 1 Fori mont 9	Peso 1 Fori mont 9 x dim 3 y dim 6 z dim 6	Peso 1 Fori mont 9 x dim 3 y dim 6 z dim 3	Peso 1 Fori mont 9 x dim 6 y dim 3 z dim 3	Peso 1 Fori mont 9 x dim 6 y dim 6 z dim 1	Peso 1 Fori mont 9 x dim 6 y dim 3 z dim 1	Peso 1 Fori mont 9 x dim 6 y dim 6 z dim 1	Peso 1 Fori mont 9 x dim 6 y dim 3 z dim 1	Peso 1 Fori mont 9 x dim 3 y dim 1 z dim 1	Peso 1 Fori mont 9 x dim 6 y dim 6 z dim 6	Peso 1 Fori mont 9 x dim 3 y dim 3 z dim 3	Peso 1 Fori mont 9 x dim 6 y dim 1 z dim 1	Peso 1 Fori mont 9 x dim 6 y dim 1 z dim 1	272
Magazzino Cartoni	Res 1 Punti mont 6											Pneu 6 Elettrico 6			19
Formatore cartoni	Res 1 Punti mont 6 x dim 6 y dim 6 z dim 6											Pneu 6 Elettrico 6			37
Saldatura fondo	Res 1 Punti mont 3 x dim 6 y dim 6 z dim 6											Pneu 6 Elettrico 6			34
Trasporto	Res 1 Punti mont 6 x dim 6 y dim 3 z dim 1											Pneu 6 Elettrico 6 Lubrificazione 6			35
Gestione tappo	Res 1 Punti mont 3 x dim 6 y dim 6 z dim 1											Pneu 6 Elettrico 6			28
Disinfezione cartoni	Res 1 Punti mont 6 x dim 6 y dim 6 z dim 1				z dim 9			N° dosatori 9 Diametro dosatori a				Pneu 6 Elettrico 6			59
Dosatore	Res 3 Punti mont 6 x dim 6 y dim 6 z dim 1											Pneu 6			28
Saldatura tetto	Res 1 Punti mont 6 x dim 6 y dim 6 z dim 1											Pneu 6 Elettrico 6			32
Lavaggio esterno	Res 1 Punti mont 3 x dim 6 y dim 1 z dim 1											Pneu 6 Acqua a perdere 6			24
Trattamento aria interno macchina	Res 3 Punti mont 6 x dim 6 y dim 6 z dim 6											Pneu 6 Elettrico 6			39
Impianti	Res 1 Punti mont 6 x dim 6 y dim 6 z dim 1				Barra fondo 6 Lubrificazione 6	Presenza 6	Presenza 6			Presenza 6	Cappa a flusso 6		Presenza 6	Presenza 6	68
Azoto	Res 1 Punti mont 6 x dim 6 y dim 6 z dim 1											Pneu 6 Elettrico 6			32
Datario	Res 1 Punti mont 3 x dim 6 y dim 1 z dim 1											Pneu 6 Elettrico 6			24
CI-S	241	10	25	22	43	29	26	41	20	21	34	172	24	24	

Rispetto alla DSM in aggiunta la Tabella 5.3 riporta la sensibilità dei vari gruppi al cambiamento e mostra in modo più dettagliato i flussi di informazioni che questi si scambiano l'uno con l'altro. Con sensibilità si intende l'intensità della loro risposta al cambiamento. Questa viene misurata usando la scala di valori presentata in Figura 3.3. I valori attribuibili sono:

- 9 - alta sensibilità: un piccolo cambiamento nelle specifiche influenza il componente ricevente;
- 6 - sensibilità medio-alta;
- 3 - sensibilità medio-bassa;
- 1 - sensibilità bassa: un grande cambiamento nelle specifiche influenza il componente ricevente;
- 0 - nessuna sensibilità.

Come si può osservare dalla Tabella 5.3, i gruppi che necessitano maggior attenzione sono la struttura, gli impianti e il sistema di trasporto. Questo è visibile dagli indici CI-S e CI-R ottenuti sommando colonne e righe della matrice. Indicano rispettivamente il cambiamento totale fornito e ricevuto da un gruppo funzionale. Altra osservazione che si può fare è legata al grado di generalità elevato utilizzato per definire i flussi nel caso di alcuni gruppi funzionali. Considerato il livello di analisi a cui ci si trova attualmente si è preferito mantenere un carattere di generalità per i flussi che si scambiano alcuni gruppi. Ad esempio, per definire l'influenza del gruppo impianti sul resto della macchina sono stati utilizzati i suoi sottogruppi come l'impianto elettrico, pneumatico ecc. invece che veri e propri output, quali calore, pressione, voltaggio ecc.

La Tabella 5.3 evidenzia anche la quasi nulla interazione dei gruppi tra di loro, escludendo telaio e impianti. Questo è il risultato di una precedente attività di separazione e raggruppamento di elementi sulla base delle funzioni svolte. È stato così possibile creare gruppi funzionali quasi totalmente indipendenti gli uni dagli altri ma inevitabilmente legati a telaio e impianti, che sono gli elementi di connessione della macchina. Questa separazione delle funzioni è un primo passo verso la modularità del prodotto.

Altra osservazione che possiamo fare è legata alla non simmetria della matrice. Questa è particolarmente evidente nel caso degli impianti. Gli impianti presenti sulla RG50 sono stati dimensionati per soddisfare le varianti più grandi dei gruppi funzionali, lasciandolo immutato per quelle minori. In questo modo è garantito il funzionamento e non sono richiesti continui aggiustamenti. Questo viene sottolineato dalla matrice in cui si può notare la maggiore influenza del cambiamento del gruppo impianti sugli altri gruppi rispetto all'influenza che questi ultimi esercitano sugli impianti.

Come già evidenziato, il gruppo struttura e il gruppo impianti presentano la criticità maggiore. In particolare, la struttura è composta da 8 sottogruppi nelle macchine RG:

1. **Telaio:** lo scheletro della macchina su cui viene montata tutta la componentistica;
2. **Sportelli:** sistemi di protezione che permettono l'accesso all'interno macchina;
3. **Cofano:** sistema di copertura inferiore della macchina;
4. **Vasche raccolta olio:** sistema di raccolta olio posto sul fondo della macchina costituito da vasche estraibili o fisse;
5. **Cover superiore:** sistema di copertura superiore. Posta dove vi sono aperture della macchina verso l'esterno;
6. **Albero principale:** sistema principale di trasmissione della macchina. L'albero percorre la macchina per tutta la sua lunghezza e permette la movimentazione verticale dei vari elementi macchina, tramite camme calettate su di esso;
7. **Piattaforma:** passerella che permette agli operatori di lavorare in sicurezza sulla parte superiore della macchina;
8. **Etichette e segnali:** forniscono informazioni sulla macchina.

Nel caso della RG50 il gruppo piattaforma non è previsto date le dimensioni della macchina quindi sarà trascurato per questa analisi.

Tra questi sottogruppi l'elemento più importante è sicuramente il telaio. Considerata la fase di sviluppo prodotto in cui ci troviamo, il telaio, in virtù della sua funzione di supporto della macchina, deve essere uno dei primi elementi su cui lavorare. Premesso questo si decide di continuare lo studio focalizzandosi sul gruppo struttura e in particolare sul telaio. Applicando la matrice DSM al caso della struttura è possibile evidenziare la dipendenza di tutti gli altri elementi dal telaio come mostrato in Tabella 5.4 e in Figura 5.4.

Tabella 5.4 Matrice DSM per il gruppo struttura

DSM	Telaio	Sportelli	Cofano	Vasche raccolta olio	Cover superiore	Albero principale	Etichette e segnali	Cambiamento ricevuto
Telaio	1							0
Sportelli	1	1						1
Cofano	1		1					1
Vasche raccolta olio	1			1				1
Cover superiore	1				1			1
Albero principale	1					1		1
Etichette e segnali							1	0
Cambiamento propagato	5	0	0	0	0	0	0	0
CPI	5	-1	-1	-1	-1	-1	0	
Classe componente	M	A	A	A	A	A	V	

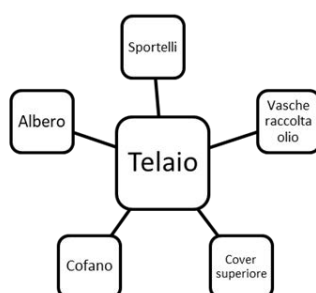


Figura 5.4 Schema relazioni gruppo struttura

La tabella 5.4 sottolinea il fatto che il telaio sia un moltiplicatore. Cioè una modifica dello stesso comporta il dover modificare altri 5 componenti della struttura. Si devono quindi trovare delle soluzioni per poter svincolare il telaio dagli altri componenti della struttura dal punto di vista della propagazione del cambiamento. Da notare che i vari elementi del gruppo struttura non comunicano tra di loro se non con il telaio.

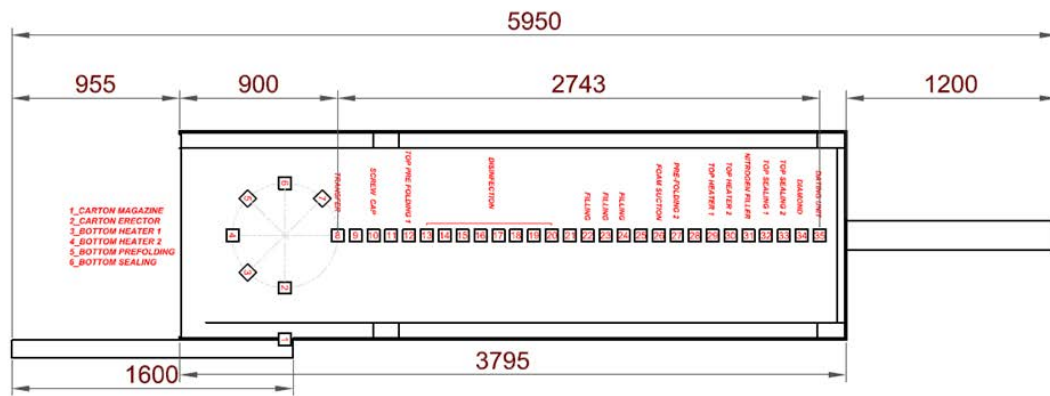
Concentrandosi su quest'ultimo elemento si può affermare che l'incertezza in questo caso si traduce in una variabilità delle dimensioni dello stesso. A seconda delle configurazioni il telaio dovrà cambiare di dimensioni. Si può affermare che le variabili associate all'incertezza nel caso del telaio sono la sua lunghezza, altezza e la larghezza.

In questa analisi ci si concentrerà unicamente sulla prima mentre le altre verranno fissate. Tutte le considerazioni fatte per la lunghezza del telaio si potranno fare successivamente anche per le altre due dimensioni.

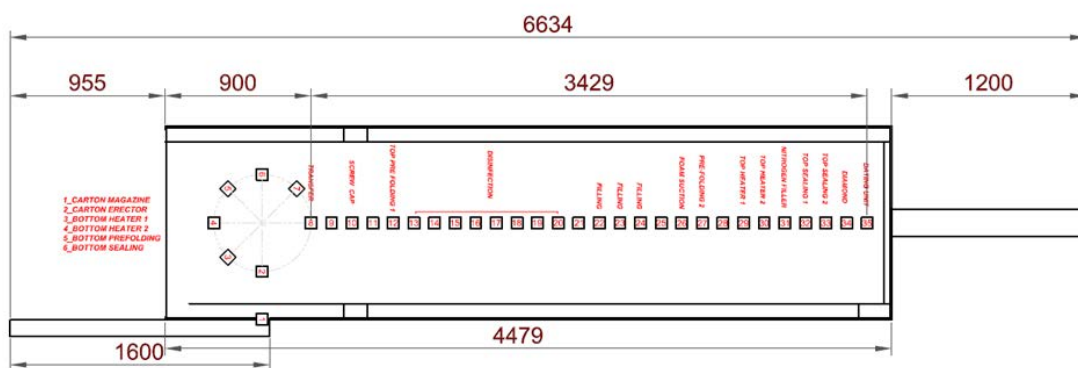
5.3.3 Variabilità delle variabili di progetto

In questa fase, si deve individuare la variabilità delle variabili di progetto, cioè le bande di variabilità delle grandezze associate all'incertezza individuata per il prodotto. Nel caso in questione l'unica variabile considerata è la lunghezza del telaio. Per trovare la sua variabilità ci si ricollega a quanto riportato al paragrafo §5.2.1. La macchina deve essere in grado di accogliere i gruppi utilizzati attualmente sulle macchine RG quindi l'intervallo di variabilità della lunghezza potrà essere definito considerando la presenza o meno dei gruppi funzionali in macchina e la loro dimensione. La macchina più corta sarà quella con il minor numero di gruppi funzionali e nella variante più piccola mentre la più lunga sarà quella che li conterrà tutti e nella variante più ingombrante. Tra questi due estremi si trovano tutte le possibili lunghezze di macchina, ognuna associata a una diversa configurazione.

In Figura 5.5 vengono presentati i layout della nuova RG50, completa di tutti i gruppi funzionali previsti per la nuova RG50, a passo corto, 101,6 mm, e passo lungo, 127 mm. Si ricorda che il passo è la distanza che separa due stazioni successive in macchina. Le stazioni sono di due tipi: stazioni in cui si verifica un'effettiva lavorazione e stazioni vuote. Queste ultime sono importanti per garantire il corretto svolgimento di alcune procedure e per poter accogliere gli ingombri dei gruppi funzionali. Ad esempio, lo *screw cap* occupa uno spazio di tre stazioni. In solo una di queste, quella centrale, si verifica l'effettiva applicazione del tappo; le due esterne sono presenti perché gli ingombri dell'applicatore tappi richiedono tali spazi.



(a)



(b)

Figura 5.5 Layout nuova Rg50 (a) passo 101,6 mm e (b) 127 mm

Come si può notare dalla Figura 5.5 le due configurazioni sono identiche, infatti presentano lo stesso numero di stazioni e funzioni, ma hanno ingombri diversi. Per definire le dimensioni del layout, oltre al numero stazioni, si tengono in considerazione gli ingombri fissi. Questi sono:

- la giostra mandrini (900 mm), il gruppo che coincide con le stazioni da 2 a 8;
- il magazzino (1600 mm);
- l'uscita (150 mm), il tratto finale della macchina;
- il nastro di trasporto d'uscita (1200 mm).

Per la macchina passo corto l'ingombro massimo in configurazione completa risulta 5950 mm mentre per quella a passo lungo avremo un passo pari a 6634 mm.

Rispetto alla macchina vecchia la differenza sostanziale risiede nel numero totale di stazioni maggiore, 35 contro 32, imputabile al diverso sistema di disinfezione. Nella nuova macchina non è presente la stazione di allineamento dei cartoni; questo è dovuto

alla differenza rispetto alla vecchia nella disposizione dell'applicatore tappi che ora è posizionato prima del primo prepiega tetto. Lo stesso applicatore tappi svolge la funzione di allineamento.

Se si considera la versione con meno gruppi funzionali le dimensioni si riducono notevolmente. Si arriva a una lunghezza di 4424 mm per la configurazione a passo corto e a 4729 mm per quella a passo lungo.

Nel layout non sono stati riportati tutti i gruppi, ma solo quelli che influenzano la lunghezza della macchina; ad esempio la cappa a flusso, gruppo posto sopra la macchina, ha ingombri che rientrano in quelli già definiti dagli altri gruppi riportati a layout quindi non è presente in figura.

Per definire la variabilità della lunghezza del telaio dobbiamo escludere dalle misure sopra riportate le lunghezze di tutti i gruppi che si trovano al di fuori di esso. Queste saranno quelle di parte del magazzino e del nastro di trasporto d'uscita. In Tabella 5.5 sono riportati i risultati.

Tabella 5.5 Banda di variabilità della lunghezza del telaio

RG50	Banda di variabilità (mm)	
	Min	Max
Passo 1 (101,6 mm)	2269	3795
Passo 2 (127 mm)	2574	4479

Idealmente quindi il telaio dovrebbe poter oscillare tra una lunghezza minima di 2269 mm e una massima di 3795 mm per il passo 101,6 e tra una minima di 2574 e una massima di 4479 mm per il passo 127.

5.3.4 Definizione dei moduli del telaio

La scomposizione del telaio in moduli si basa su un ragionamento fatto concentrandosi sulla definizione di gruppi funzionali standard e variabili.

Tra la massima e la minima, sia per il passo corto che per quello lungo, vi sono molte altre configurazioni, date dalla presenza o meno dei gruppi funzionali e dalla loro tipologia. In ogni configurazione della nuova RG50 saranno presenti, con dimensioni definite, la giostra mandrini, il magazzino, l'uscita e il nastro di trasporto d'uscita come anticipato. Per determinare il numero massimo di configurazioni possibili si considerano le combinazioni ottenibili con i gruppi applicatore tappi, disinfezione, dosaggio, aspiraschiuma, sistema diamond e datario. Le stazioni restanti sono presenti in ogni macchina. Il numero massimo di configurazioni possibili ottenuto è 96 ($2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ combinazioni). L'applicatore tappi può esserci o meno così come l'aspiraschiuma, il diamond e il datario ($2 \times 2 \times 2 \times 2$), la disinfezione è presente in 2 tipologie o può non esserci (3) e il sistema di dosatura può essere di due tipi (2). Alcune di queste configurazioni, sebbene con gruppi funzionali diversi, presentano lo stesso numero di stazioni e questo si traduce in una uguale lunghezza di macchina. Tenendo in considerazione questo da 96 lunghezze si passa a 16 per passo; cioè 32 lunghezze per entrambi i passi macchina. Tra i due passi diversi alcune lunghezze sono in comune e da 32 si passa a 29. Le 96 combinazioni si riconducono a 29 lunghezze diverse di telaio.

Dopo la recente decisione dell'azienda di unificare il passo macchina è stato possibile ridurre ulteriormente il numero di lunghezze del telaio. Prima di questo evento tutte le macchine Galdi erano state dotate di doppio passo. La decisione di adottare un solo passo, il 127 mm, da un lato si traduce in un aumento dei costi, dato dal maggior consumo di materiale e una più complessa progettazione iniziale, dall'altro porta a semplificazioni progettuali future che sul lungo termine permetteranno di rientrare della spesa maggiore. Questo del passo è un esempio di standardizzazione; è stato scelto il passo maggiore perchè permette di gestire tutti i formati cartone in una sola macchina. I gruppi dovranno essere adattati di conseguenza.

Tale decisione, di fatto, permette di passare da 29 a solo 16 lunghezze di telaio per accogliere tutte le combinazioni dei gruppi funzionali.

Si decide di ridurre ulteriormente il numero di lunghezze dato che sviluppare una flessibilità tale da supportarne 16 sarebbe troppo difficoltoso. Per fare questo si rendono standard, cioè presenti in tutte le macchine, le stazioni di alcuni gruppi. Questi gruppi sono l'applicatore tappi, il datario e il diamond che si vanno aggiungere agli altri gruppi standard transfer, prepiega del tetto, riscaldatori del tetto, applicatore d'idrogeno e chiusura tetto. Delle 28 stazioni che si trovano sulla movimentazione lineare 15 saranno

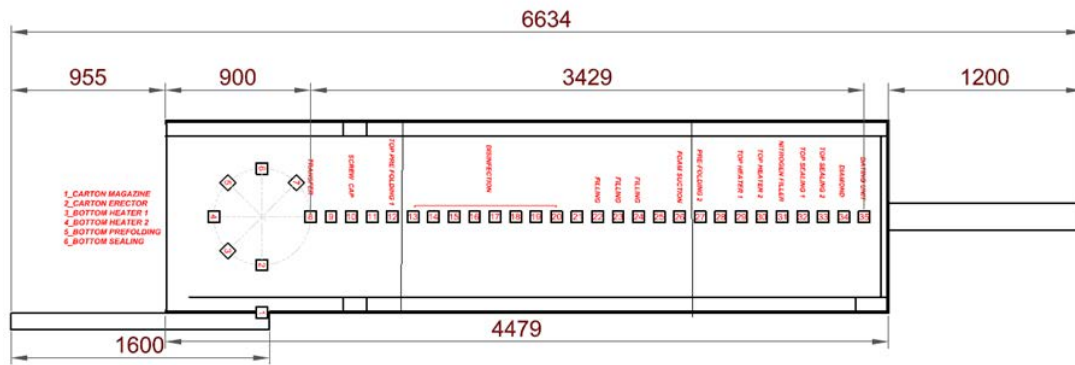
sempre presenti in seguito alle considerazioni fatte sopra. Tale scelta è stata dettata non solo dalla volontà di semplificazione ma anche da decisioni commerciali. Ad esempio, la standardizzazione delle stazioni legate all'optional applicatore tappi è stata decisa perché l'azienda voleva comunque dare la possibilità al cliente di aggiungerlo anche dopo la vendita.

Queste considerazioni permettono di iniziare a delineare una prima bozza di come potrebbe configurarsi il telaio. Le stazioni standard riportate sono collocate esclusivamente in testa e in coda al telaio. Da qui l'idea di suddividere il telaio in 3 blocchi: due blocchi di lunghezza standard e uno di lunghezza variabile. I primi due accolgono tutti i gruppi standard che si trovano in testa e in coda mentre il blocco di lunghezza variabile accoglierà i gruppi che cambiano e si troverà in posizione centrale. I tre blocchi non sono altro che tre moduli che costituiscono il telaio.

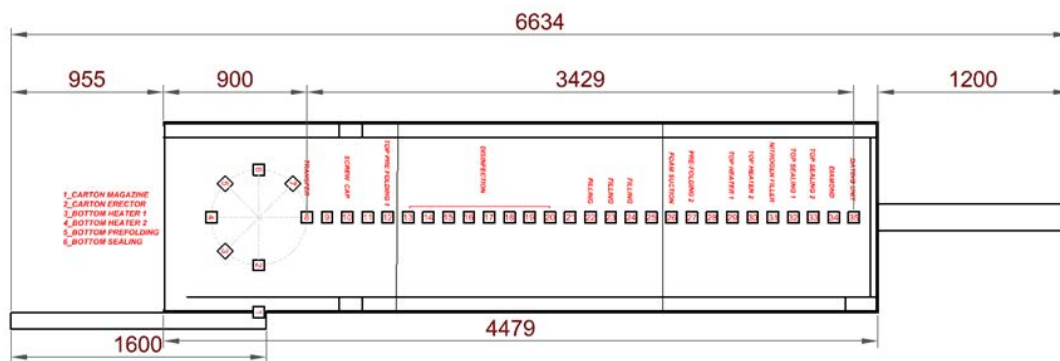
L'ultima valutazione riguarda l'aspiraschiuma. Tale sistema, come suggerisce il nome, viene utilizzato per aspirare la schiuma internamente al cartone una volta riempito con l'alimento. Viene introdotto quando è presente il riempimento a flussimetri che funzionando per gravità porta alla formazione di schiuma al momento dell'impatto del liquido con il fondo del cartone. Se non ci fosse l'aspirazione, la schiuma formatasi potrebbe entrare in contatto con la zona di incollaggio del tetto del cartone, compromettendone la chiusura, rendendola meno ermetica. Per l'aspiraschiuma le strade da seguire sono due:

- Introdurre la stazione per ogni macchina a seconda che il gruppo ci sia o meno. Lasciarla vuota quando non è richiesto;
- Mettere o togliere la stazione a seconda che il gruppo ci sia o meno.

A seconda di quale delle due si prenderà l'aspiraschiuma dovrà o essere introdotto in un modulo standard, nel caso della prima opzione, o nel modulo variabile, nel caso si decida per la seconda. Le implicazioni delle due possibili scelte sono visibili in Figura 4.6.



(a)



(b)

Figura 5.6 Layout suddiviso in tre blocchi con aspiraschiuma facente parte del (a) secondo blocco (variabile) e (b) terzo blocco (standard)

Come visibile in Figura 5.6 il primo modulo accoglie le stazioni di testa. Sono quelle facenti parte della giostra mandrino, del trasporto, dell'applicatore tappi e del prepiega 1. Il secondo e terzo blocco variano a seconda delle possibilità legate al sistema di aspiraschiuma. La figura 5.6 (b) riporta la stazione dell'aspiraschiuma associata al terzo blocco, cioè presente in ogni macchina, assieme a quelle legate a prepiega 2, riscaldatore tetto 1 e 2, riempitore idrogeno, saldatore tetto 1-2 e diamond. La figura 5.6 (a) invece riporta la stazione dell'aspiraschiuma legata al secondo blocco, cioè quello della disinfezione e del riempimento.

Si procede prendendo in esame per primo quest'ultimo caso. Il numero di configurazioni associate al modulo centrale è stato ottenuto considerando la presenza o meno delle sue funzioni e la loro tipologia. Nel secondo blocco quindi avremo:

- La **disinfezione** può essere presente o assente. Nel secondo caso il numero di stazioni ad essa associato è pari a zero. L'assenza della disinfezione si ha su

RG50 per prodotto fresco, cioè un alimento che ha bassa shelf life. Se invece si vuole una vita a scaffale maggiore si deve introdurre la disinfezione che può essere di due tipi. In entrambi i casi il tipo di disinfezione da usare sulla 50 è derivato da macchine con produttività maggiore. Abbiamo la disinfezione derivata dalla Rg270/TRG7 (7 stazioni) e quella dalla NGRG (8 stazioni).

- Il **riempimento**, come già spiegato, può essere di due tipi. A flussimetri (5 stazioni) e a DDF (3 stazioni). Il flussimetro misura la quantità di fluido in caduta e lo dosa di conseguenza; il DDF è un sistema a pistoni che aspira il liquido dal tank, il serbatoio dell'alimento, e lo inietta nei cartoni.
- L'**aspiraschiuma** può esserci (1 stazione) o non esserci (0 stazioni). L'aspiraschiuma non c'è mai con il sistema DDF che già di per se evita la formazione di schiuma. Con i flussimetri può esserci o meno.

La Tabella 5.6 è stata compilata tenendo in considerazione quanto appena riportato. Le configurazioni sono 12 (3x2x2) che si traducono in 9 lunghezze diverse del modulo centrale. In rosso sono evidenziate le configurazioni non possibili, dato che il DDF non necessita aspiraschiuma. In questo modo il numero di lunghezze del modulo scende a 8.

Tabella 5.6 Configurazione del secondo blocco con aspiraschiuma associato a questo

Configurazione	Disinfezione	Dosaggio	Aspiraschiuma	N° stazioni	Lunghezza secondo blocco con passo 127
1	8	5	1	14	1778
2	8	5	0	13	1651
3	8	3	1	12	1524
4	8	3	0	11	1397
5	7	5	1	13	1651
6	7	5	0	12	1524
7	7	3	1	11	1397
8	7	3	0	10	1270
9	0	5	1	6	762
10	0	5	0	5	635
11	0	3	1	4	508
12	0	3	0	3	381

Se invece si vuole standardizzare l'aspiraschiuma lo si porta al terzo blocco come mostrato in Figura 5.6 b). In questo caso le configurazioni che può assumere il blocco centrale scendono diventando sei come riportato in Tabella 5.7. Il terzo blocco risulterà

più lungo di 127 mm e in caso di assenza dell'aspiraschiuma la stazione corrispondente rimarrà vuota.

Tabella 5.7 Configurazioni del secondo blocco con aspiraschiuma associato al terzo blocco

Configurazione	Disinfezione	Dosaggio	N° stazioni	Lunghezza secondo blocco con passo 127
1	8	5	13	1651
2	8	3	11	1397
3	7	5	12	1524
4	7	3	10	1270
5	0	5	5	635
6	0	3	3	381

Si decide di procedere con la configurazione che prevede l'aspiraschiuma associato al terzo blocco; in questo modo le lunghezze del secondo blocco scendono da 8 a 6.

Così è possibile passare da 16 lunghezze di telaio a solo sei che vengono tutte a concretizzarsi grazie alla variazione del modulo centrale. Anche la banda di variabilità del telaio cambierà rispetto a quanto riportato in Tabella 5.5 riducendosi, come riportato in Tabella 5.8

Tabella 5.8 Banda di variabilità della lunghezza del telaio

RG50	Banda di variabilità (mm)	
	Min	Max
Passo 2 (127 mm)	3209	4479

Le stazioni standard conferiscono al modulo di testa e di coda una lunghezza rispettivamente di 1471,5 mm e di 1358.5 mm. Dato che due stazioni vuote del dosaggio sono sempre presenti sia per il DDF che per i flussimetri si decide di spostare una di queste al terzo blocco. Così facendo la lunghezza di quest'ultimo diventa pari a

1485,5 mm. Differendo le lunghezze dei moduli di testa e coda solo per 14mm si decide di uniformarle portando il primo blocco a 1485,5 mm; in questo modo il telaio sarà costituito da due moduli standard di uguale lunghezza. Il modulo variabile perderà 127 mm e cambierà lunghezze come riportato in Tabella 5.9

Tabella 5.9 Lunghezze del secondo blocco ottenute spostando una stazione del dosaggio al terzo blocco

Configurazione	Disinfezione	Dosaggio	N° stazioni	Lunghezza secondo blocco con passo 127
1	8	4	12	1524
2	8	2	10	1270
3	7	4	11	1397
4	7	2	9	1143
5	0	4	4	508
6	0	2	2	254

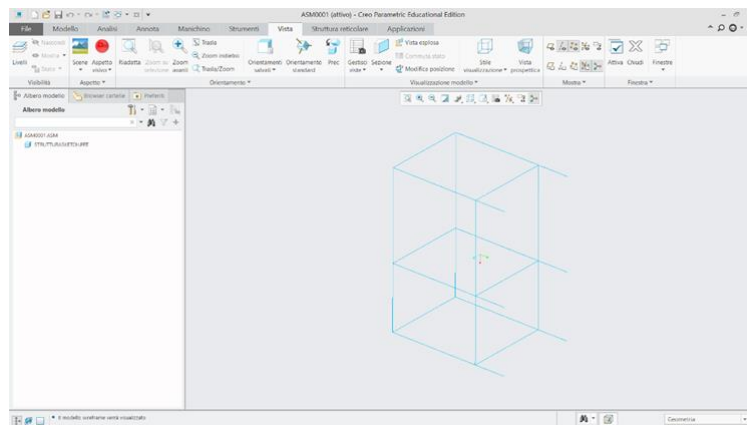
La Tabella 5.9 riporta le lunghezze definitive del modulo centrale.

5.3.5 Concept telaio

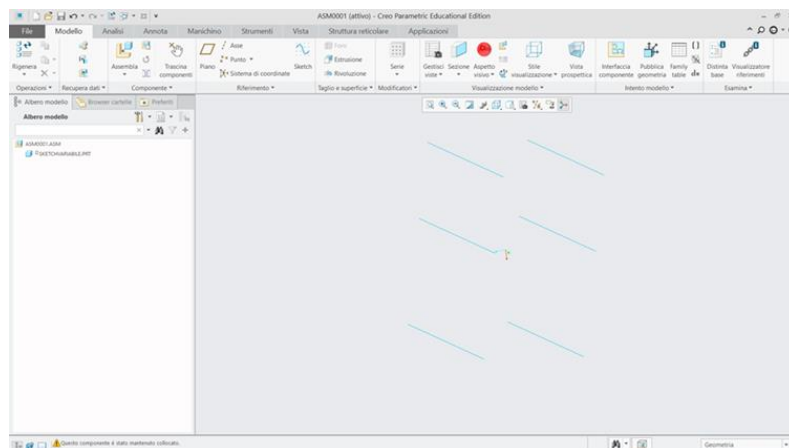
Considerato quanto riportato al paragrafo precedente si è passati alla creazione di un concept del telaio modulare della RG50. Mentre la lunghezza varia sulla base di quanto scritto al paragrafo § 5.3.5, l'altezza e la larghezza sono fissate. L'altezza imposta è di 2000 mm mentre la larghezza è 1200 mm, la stessa della NGRG. È stato fatto quello che Martin e Ishii (2002) definiscono sovradimensionamento del componente, cioè attribuirgli delle misure sufficienti a fronteggiare il cambiamento o l'incertezza. Il *concept* è una definizione di massima di come sarà il telaio.

Il telaio attuale è costituito da tubolari in acciaio inossidabile prevalentemente di misure 150x100x4 mm. Questi profili sono utilizzati per tutte le macchine, dalle più piccole alle più grandi. Naturalmente sono impiegate anche altre tipologie di tubolari come ad esempio 80x40x3 mm, che però non sono stati considerati in quanto svolgono prevalentemente ruolo di rinforzo o supporto di componentistica. I profilati delle misure sopracitate sono quelli che vengono usati per la struttura portante.

Lo scheletro della struttura è stato definito concentrandosi esclusivamente sullo sviluppo longitudinale della macchina. Al paragrafo §5.3.4 è stata definita la suddivisione in moduli con la loro lunghezza. I tre moduli così definiti sono stati tradotti in tre strutture sketch, utilizzando Creo come software di progettazione. La scelta di utilizzare questo programma è legata alla recente decisione dell'azienda di impiegarlo come principale strumento di progettazione.



(a)



(b)

Figura 5.7 Sketch del modulo di (a) testa e coda e (b) centrale del telaio

In Figura 5.7 sono rappresentati gli sketch utilizzati per la costruzione del telaio. Lo sketch di testa e coda ha lunghezza fissa pari a 1485,5 mm, mentre lo sketch del blocco centrale varierà coprendo le sei lunghezze definite al paragrafo precedente.

La configurazione del telaio mostrata in Figura 5.7 è stata concepita tenendo in considerazione i seguenti punti:

- Minimizzare il numero di lunghezze di taglio dei tubolari;
- Minimizzare i punti di saldatura del telaio;
- Minimizzare il numero di suddivisioni dei tubolari posti orizzontalmente;
- Garantire l'accessibilità.

Il primo punto permette di evitare eccessiva varietà di taglio e di ridurre i tempi di programmazione e taglio effettivo delle macchine, mentre il secondo serve a limitare i costi e tempi di saldatura. Il terzo punto permette di evitare un eccessivo indebolimento della struttura, dato che i tubolari posti orizzontalmente sono i più stressati quando si carica il telaio. Al quarto punto con accessibilità si intende una misura del grado di facilità con cui gli operatori, che si devono interfacciare con la macchina, riescono ad accedere all'interno del telaio. Se gli spazi sono troppo ridotti l'operatore non riesce a svolgere in maniera agevole le operazioni di montaggio/smontaggio e regolazione. Per poter garantire ciò è necessario che tra due tubolari verticali successivi del telaio vi siano almeno 700mm di distanza.

A partire da questo scheletro di base sono state modellate tutte le configurazioni macchina possibili. È stata utilizzata la funzione struttura reticolare di Creo per generare i telai. Questa permette di accedere a un database di travi e tubolari preinseriti, evitando così di dover modellare tutto il telaio un elemento per volta. Questo database è stato modificato per semplificare i tubolari 150x100x4 e 100x50x4 utilizzati, eliminandone gli smussi sugli spigoli. Questa operazione è stata svolta per alleggerire la successiva analisi strutturale da *feature* non necessarie, quali gli smussi. Il modo in cui i tubolari si uniscono l'uno con l'altro è stato definito cercando di allinearsi con i tipi di giunzione già utilizzati con la vecchia RG50. I tre moduli sono stati vincolati tra loro in un nuovo file assieme, in modo tale che una modifica ai file originali di ogni modulo si traducesse anche in una modifica del telaio completo. Come si può notare in Figura 4.8, la parte centrale è stata aggiunta per semplice accostamento con le parti standard.

Il pianale è stato introdotto per rendere le successive analisi più vicine al caso reale in quanto contribuisce alla rigidità del telaio. Si trova su tutte le RG prodotte dalla Galdi e quindi si può dare per assodata la sua presenza sulle nuove macchine. Lo spessore del pianale è di 5 mm e serve a separare la porzione superiore della macchina da quella inferiore e a raccogliere e drenare il liquido che si accumula su di esso. Nelle macchine attuali questo non è un pezzo unico ma viene prodotto saldando porzioni di lamiera con tecnica Tig. Nel caso del pianale viene effettuata senza apporto di materiale; in questo

modo è possibile ottenere una saldatura che presenti già una buona finitura estetica e non richieda troppe lavorazioni successive, a costo di una minor resistenza. Come riportato sopra non sono stati introdotti tubolari il cui compito principale è il supporto dei vari gruppi funzionali e degli elementi di macchina, e di rinforzo. Mancano anche le paratie che svolgono, come i tubolari appena citati, funzione di sostegno per i gruppi funzionali. Non sono stati introdotti tali elementi perché non necessari ai fini delle analisi e di valutazioni successive. Inoltre, a questo livello di sviluppo prodotto non è possibile determinarne il numero e la posizione, che verrà affrontato nella fase di progettazione di dettaglio.

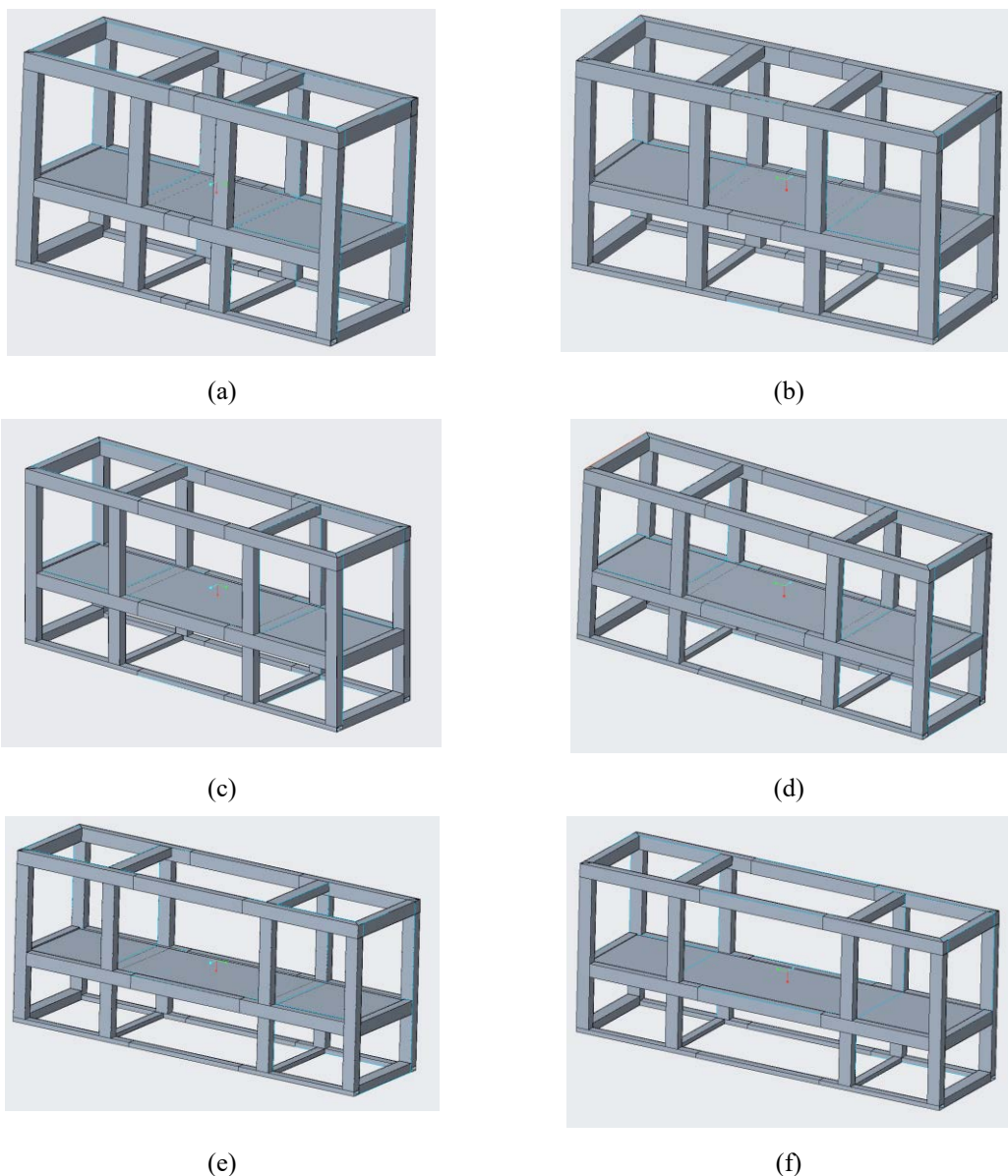


Figura 5.8 Modellazione CAD del telaio con parte flessibile centrale lunga a) 254 mm b) 508 mm c) 1143 mm d) 1270 mm e) 1397 mm e f) 1524 mm

5.3.6 *Analisi telaio*

La fase di analisi è stata introdotta come strumento di verifica per valutare il lavoro effettuato sul concept del telaio. Per svolgere l'analisi sono stati presi i telai nelle loro diverse lunghezze e sono stati testati tramite analisi statica strutturale. Fare questo tipo di test permette di osservare il comportamento del telaio sotto i carichi statici a cui sarà soggetto in vita per assicurarsi che la configurazione concepita sia valida. Per eseguire i test sono stati considerati i carichi statici dati dai gruppi presenti in macchina e dal peso stesso della struttura ed è stato considerato come statica anche la forza generata dalla pressa del fondo. Questo carico agisce solo quando la macchina è in funzione e solo quando si deve saldare il fondo del cartone. L'attuale RG50 arriva a produrre fino a 3000 cartoni/ora. Questo vuol dire che a pieno regime la macchina produce circa 50 cartoni al minuto, quasi un cartone al secondo. Sebbene sia un carico ciclico che sollecita a fatica gli organi a cui è connesso si considera come sempre agente sul telaio. Gli altri carichi a cui sarà soggetta la nuova RG50 non sono ancora stati definiti, né per intensità né per punto di applicazione. Per questo motivo nelle simulazioni sono stati utilizzati i carichi a cui è soggetta la NGRG. Il motivo dietro a questa scelta risiede unicamente nel fatto che la macchina è ancora in fase di sviluppo e ed è stato possibile ottenere informazioni dettagliate sui carichi agenti. Questa macchina è attualmente la macchina di punta della Galdi e anche quella dalle dimensioni più importanti. Come la RG270 lavora due cartoni per volta, quindi tutti i gruppi funzionali sono maggiorati rispetto alla RG50 che invece lavora un solo cartone. Il valore superiore dei carichi applicati rispetto ai carichi reali viene mantenuto come vantaggio di sicurezza. Gli unici che sono stati adattati sono quelli relativi alla piattaforma, alla pressa del fondo, alla catena e alla disinfezione. Il carico dato dalla piattaforma è stato totalmente trascurato poiché non necessaria per la RG50. Il carico legato alla pressa del fondo è stato ridotto di un quarto. Per le macchine che lavorano due cartoni per volta, e quindi hanno la stazione di pressatura del fondo con due presse, viene considerato un carico di 20000 N. Ad ogni pressa è attribuita una forza di 10000 N, circa 1000 kg, valore sovrastimato che permette di mantenere un margine di sicurezza. La RG50 opera con una sola pressa, quindi un carico di 10000 N è già un'assunzione in sicurezza. Per l'analisi effettuata è stata considerata una forza di 15000 N, un carico ben superiore a quello che sarà il carico di esercizio reale della macchina. Altro elemento per cui è stato adattato il carico è la catena di trasporto. Il carico della NGRG viene ridotto di due terzi per le due

versioni più corte della macchina mentre per le altre è ridotta di un terzo. Infine, nelle versioni più corte, cioè quelle che non presentano possibilità di disinfezione, non è stato considerato il carico del tunnel di disinfezione.

Altra semplificazione che è stata adottata, sempre legata alla mancata definizione dei gruppi funzionali, riguarda i punti di applicazione dei carichi. Non si sa in che posizione precisa i gruppi saranno montati a telaio ma si dispone unicamente del layout di Figura 4.5 da cui è possibile ricavare la loro posizione di massima all'interno del telaio. L'unica eccezione è rappresentata dall'armadio elettrico di cui è stato possibile individuarne con precisione i punti di attacco al telaio essendo un pezzo standard, quindi con interfacce già definite. Si opta per l'applicazione di carichi distribuiti suddivisi per zone. Queste zone sono state definite suddividendo il telaio in tre porzioni, sia in altezza che in lunghezza. In questo modo è stato possibile collocare i carichi dovuti ai gruppi in base alla zona da loro occupata. Come si osserva in Figura 4.8 la macchina è stata suddivisa in lunghezza in una porzione di testa, zona 1, porzione di centro, zona 2 e di coda, zona 3. Questa suddivisione non coincide con la suddivisione in tre parti ottenuta dalla modularizzazione del telaio. La zona 2 infatti include tutto il modulo variabile e parti delle porzioni standard del telaio. In altezza in telaio è stata suddivisa in una zona alta, media, ad altezza pianale, e bassa.

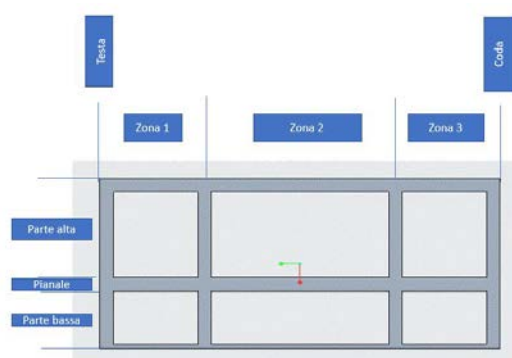


Figura 5.9 Suddivisione del telaio

La Tabella 5.10 riporta i carichi utilizzati per l'analisi della NGRG funzionante, cioè con la pressa del fondo che lavora. Ogni componente presenta il suo carico e se assegnati alla parte alta, bassa e al pianale a seconda della loro posizione. Come già

scritto l'eccezione è rappresentata dall'armadio elettrico che si aggancia in testa alla macchina, per tutta la sua altezza. È stata quindi definita una zona frontale che si sviluppa per tutta l'altezza della macchina. Dopo questa prima suddivisione, nei tre macro-gruppi altezza, a ogni componente è stata attribuita una zona a seconda della sua posizione lungo la macchina, indicato sotto la voce "Zona di applicazione forze". Infine, è stato calcolato il totale del carico applicato in ogni singola zona. Come si può notare i carichi più importanti sono dati dalla pressa del fondo, dalla piattaforma, dal dosatore e dall'armadio elettrico.

Tabella 5.10 Carichi NGRG

		NGRG			
Parte macchina	Componente	Forza (N)	Forza totale (N)	Zona di applicazione forze	Sommatoria forze per zona (N)
Pianale	Riscaldatori fondo	37	8306	1	Zona 1
	Piegasalda	218		1	2546
	Pressa fondo	95		1	Zona 2
	Primo prepiega	36		1	3888
	Riscaldatori tetto	72		3	Zona 3
	Pressa tetto	800		3	1872
	Tunnel disinfezione	1988		2	Somma zone
	Cip box	900		2	8306
	Unità sollevamento cartoni	400		1	
	Trasporto	760		1	
	Catena	3000		1,2,3	
Parte alta	Applicatore tappi	1770	45120	1	Zona 1
	Piattaforma	8800		1,2,3	28453,33333
	Camera igienica	1850		2,3	Zona 2
	Cappa a flusso	1350		2,3	11583,33333
	Unità di raffreddamento	1100		2,3	Zona 3
	Dosatore	6500		2	5083,33333
	Giostra	3200		1	Somma zone
	Pressa fondo	20550		1	45120
Parte bassa	Riscaldatori fondo	220	26370	1	Zona 1
	Piegasalda	200		1	22270
	Pressa fondo	20550		1	Zona 2
	Primo prepiega fondo	300		1	1000
	Riscaldatori tetto fondo	1750		3	Zona 3
	Sollevatore cartoni	350		3	3100
	Albero	3000		1,2,3	Somma zone
			26370		
Testa	Armadio elettrico	6000	6000	1	Zona 1
					Somma zone
					6000

Quanto fatto per la NGRG è stato ripetuto, con i dovuti adattamenti, per tutte le configurazioni del nuovo telaio della RG50, come riportato in Tabella 5.11.

Tabella 5.11 Carichi per le sei configurazioni di telaio

Parte macchina	Componente	Zona di applicazione forza	RG50 (Parte variabile 254 mm)			RG50 (Parte variabile 508mm)			RG50 (Parte variabile 1143 mm)			RG50 (Parte variabile 1270 mm)			RG50 (Parte variabile 1397 mm)			RG50 (Parte variabile 1524 mm)		
			Forza (N)	Forza totale (N)	Sommatoria forze per zona (N)	Forza (N)	Forza totale (N)	Sommatoria forze per zona (N)	Forza (N)	Forza totale (N)	Sommatoria forze per zona (N)	Forza (N)	Forza totale (N)	Sommatoria forze per zona (N)	Forza (N)	Forza totale (N)	Sommatoria forze per zona (N)	Forza (N)	Forza totale (N)	Sommatoria forze per zona (N)
Planale	Riscaldatori fondo	1	37	37	Zona 1 1879,333333	37	37	Zona 1 2212,66667	37	37	Zona 1 2212,66667	37	37	Zona 1 2212,66667	37	37	Zona 1 2212,66667	37	37	Zona 1 2212,66667
	Piegasalda	1	218	218	Zona 2 1233,333333	218	218	Zona 2 2566,66667	218	218	Zona 2 2566,66667	218	218	Zona 2 2566,66667	218	218	Zona 2 2566,66667	218	218	Zona 2 2566,66667
	Pressa fondo	1	95	95	Zona 3 1205,333333	95	95	Zona 3 1538,66667	95	95	Zona 3 1538,66667	95	95	Zona 3 1538,66667	95	95	Zona 3 1538,66667	95	95	Zona 3 1538,66667
	Primo prepiega	1	36	36	Somma zone 4318	36	36	Somma zone 6318	36	36	Somma zone 6318	36	36	Somma zone 6318	36	36	Somma zone 6318	36	36	Somma zone 6318
	Riscaldatori tetto	3	72	72		72	72		72	72		72	72		72	72		72	72	
	Pressa tetto	3	800	4318		800	4318		800	4318		800	4318		800	4318		800	4318	
	Tunnel disinfestazione	2	0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	
	Cip box	2	900	900		900	900		900	900		900	900		900	900		900	900	
	Unità sollevamento cartoni	1	400	400		400	400		400	400		400	400		400	400		400	400	
	Trasporto	1	760	760		760	760		760	760		760	760		760	760		760	760	
Catena	1,2,3	1000	1000		1000	1000		1000	1000		1000	1000		1000	1000		1000	1000		
Parte alta	Applicatore tappi	1	1770	1770	Zona 1 -10030	1770	1770	Zona 1 -10030	1770	1770	Zona 1 -10030	1770	1770	Zona 1 -10030	1770	1770	Zona 1 -10030	1770	1770	Zona 1 -10030
	Piattaforma	1,2,3	0	0	Zona 2 8650	0	0	Zona 2 8650	0	0	Zona 2 8650	0	0	Zona 2 8650	0	0	Zona 2 8650	0	0	Zona 2 8650
	Camera igienica	2,3	1850	1850	Zona 3 2150	1850	1850	Zona 3 2150	1850	1850	Zona 3 2150	1850	1850	Zona 3 2150	1850	1850	Zona 3 2150	1850	1850	Zona 3 2150
	Cappa a flusso	2,3	1350	30770	Somma zone 770	1350	30770	Somma zone 770	1350	30770	Somma zone 770	1350	30770	Somma zone 770	1350	30770	Somma zone 770	1350	30770	Somma zone 770
	Unità di raffreddamento	2,3	1100	1100		1100	1100		1100	1100		1100	1100		1100	1100		1100	1100	
	Dosatore	2	6500	6500		6500	6500		6500	6500		6500	6500		6500	6500		6500	6500	
	Giostra	1	3200	3200		3200	3200		3200	3200		3200	3200		3200	3200		3200	3200	
	Pressa fondo	1	15000	15000		15000	15000		15000	15000		15000	15000		15000	15000		15000	15000	
	Riscaldatori fondo	1	220	220	Zona 1 16720	220	220	Zona 1 16720	220	220	Zona 1 16720	220	220	Zona 1 16720	220	220	Zona 1 16720	220	220	Zona 1 16720
	Piegasalda	1	200	16720	Zona 2 1000	200	16720	Zona 2 1000	200	16720	Zona 2 1000	200	16720	Zona 2 1000	200	16720	Zona 2 1000	200	16720	Zona 2 1000
Pressa fondo	1	15000	15000		15000	15000		15000	15000		15000	15000		15000	15000		15000	15000		
Primo prepiega fondo	1	300	20820		300	20820		300	20820		300	20820		300	20820		300	20820		
Riscaldatori tetto fondo	3	1750	1750		1750	1750		1750	1750		1750	1750		1750	1750		1750	1750		
Sollevatore cartoni	3	350	350		350	350		350	350		350	350		350	350		350	350		
Albero	1,2,3	3000	3000		3000	3000		3000	3000		3000	3000		3000	3000		3000	3000		
Testa	Armadio elettrico	1	6000	6000	Zona 1 6000	6000	6000	Zona 1 6000	6000	6000	Zona 1 6000	6000	6000	Zona 1 6000	6000	6000	Zona 1 6000	6000	6000	Zona 1 6000
				Somma zone 6000			Somma zone 6000			Somma zone 6000			Somma zone 6000			Somma zone 6000			Somma zone 6000	

Per le simulazioni statiche è stato utilizzato Ansys Workbench. Ansys è un software di analisi che si basa sugli elementi finiti. I modelli prodotti, uniti in Creo, sono stati importati sotto forma di file .stp in Ansys. La mesh applicata non prevede modifiche rispetto ai parametri di default per evitare di appesantire troppo la simulazione, tranne il parametro *relevance center*, impostato su fine, per infittire la mesh. In tutte le configurazioni sono stati considerati solo 4 piedi di supporto. Questa assunzione, realistica per le versioni più corte, non rappresenta l'ideale per i telai più lunghi in quanto favorisce flessioni nella parte centrale. Nelle attuali RG50 più lunghe si utilizzano sei piedini avvitabili. Nonostante questo, si è deciso di considerare solo 4 appoggi per lavorare in vantaggio di sicurezza; se dalle simulazioni risulterà che anche i telai più lunghi si comporteranno in modo adeguato sotto effetto dei carichi allora lo faranno anche con un numero maggiore di supporti. Per simulare la presenza dei piedini nella parte inferiore dei telai sono state ricavate 4 piccole superfici in corrispondenza della posizione che occupano in macchina tramite il *tool* di Ansys *face split*, come mostrato in Figura 5.10. Questo strumento permette unicamente la divisione delle superfici, evitando che si verifichi anche una divisione del volume del solido.

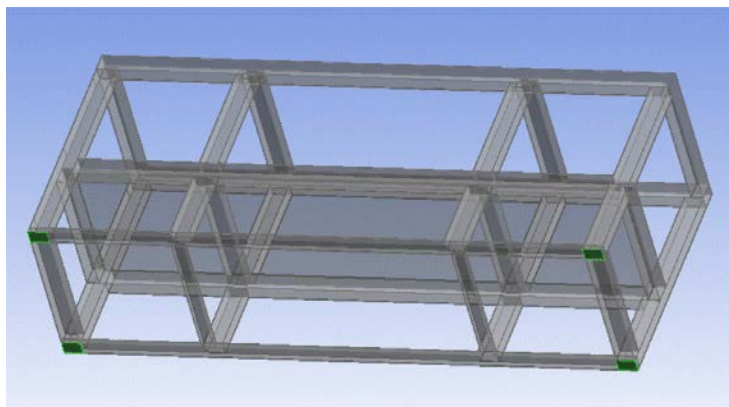


Figura 5.10 Evidenza delle superfici dei piedi nel telaio visto da sotto

Le superfici sono state poi vincolate per simulare gli appoggi come mostrato in Figura 5.11. In tutte è stato bloccato il grado di libertà che ne permette lo spostamento verticale, per simulare la presenza del pavimento, e per solo una di queste sono stati bloccati anche gli spostamenti sul piano orizzontale. Senza quest'ultimo vincolo il

software vede il sistema come labile, dato che può ruotare sul piano orizzontale, e rilascia un messaggio di errore in risoluzione.

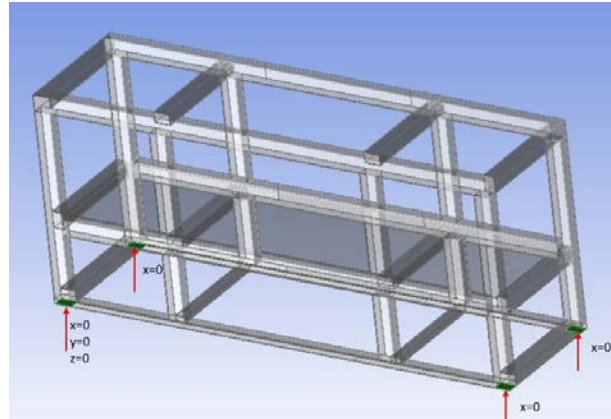


Figura 5.11 Condizioni di vincolo sui piedi del telaio

Si è poi passati all'applicazione dei carichi al telaio. Per la creazione delle superfici, rappresentative delle varie zone di applicazione dei carichi, è stata usata sempre la funzione "face split".

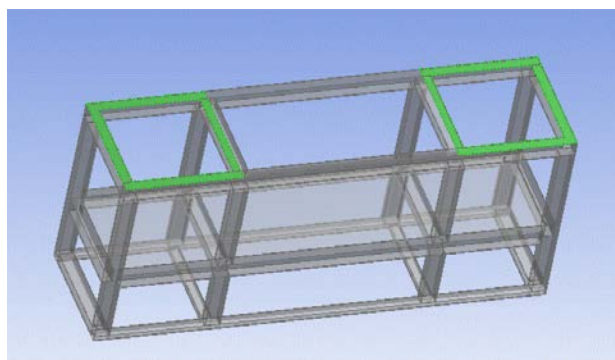


Figura 5.12 Esempio di suddivisione superfici telaio

Come mostrato in Figura 5.13 il verso dei carichi risulta sempre verso il basso, essendo generati dalla massa dei componenti, escluso quello legato alla pressa del fondo, agente sulla parte alta del telaio. Dato il funzionamento della pressa il carico ha verso opposto rispetto agli altri, verso l'alto. In ultimo è stata aggiunta la forza peso del telaio stesso.

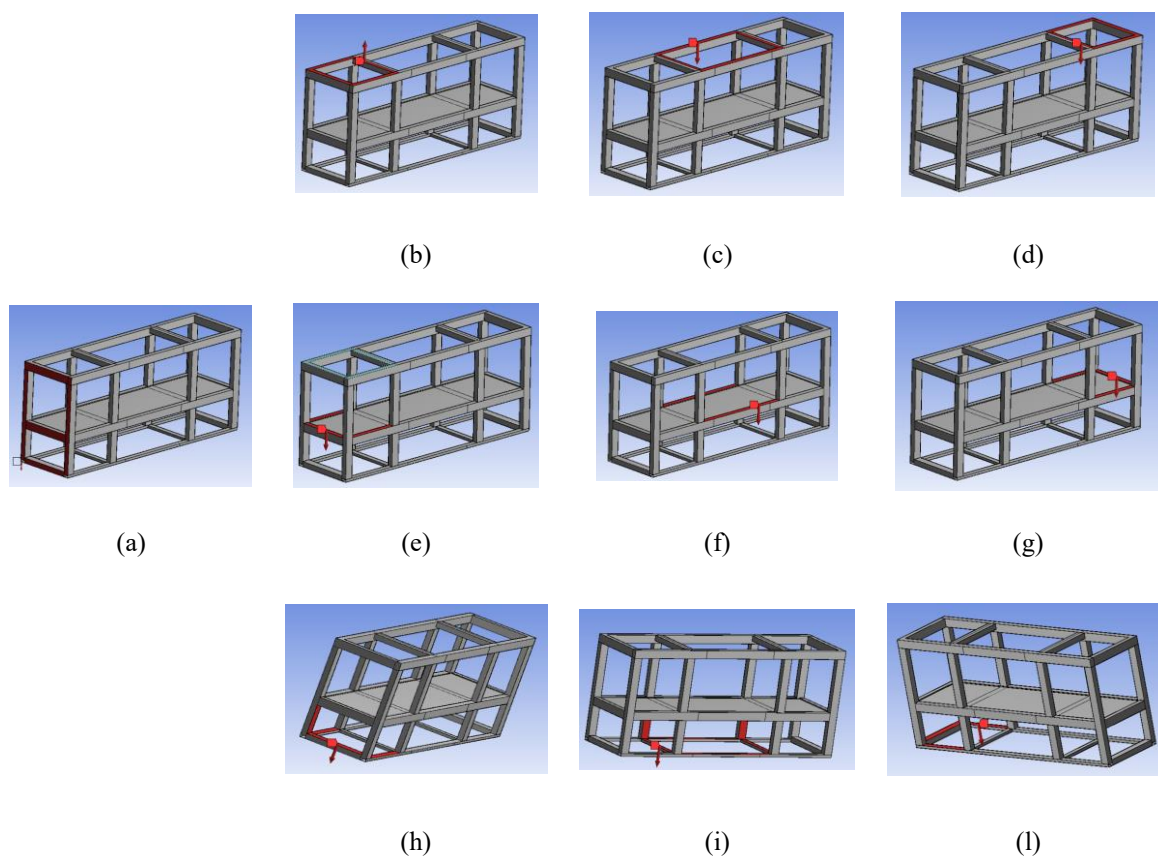


Figura 5.13 Superfici e direzioni di applicazione di carico

Con la simulazione si vogliono individuare i valori di deformazione e tensione equivalente di Von Mises. Questo per verificare che il telaio non presenti punti di snervamento o eccessiva deformazione in condizione di funzionamento. Come fatto da Hou et al. (2016) uno dei parametri considerati è stata la rigidità della struttura. In Figura 5.14, com'era intuibile, si può notare che la massima deformazione si manifesta in corrispondenza della zona centrale. In figura vengono riportate solo le due configurazioni estreme, la più corta e la più lunga, ma tutte presentano simile andamento delle deformazioni. In Figura 5.14 le deformazioni sono graficamente accentuate per poterle renderle più evidenti; i valori infatti sono in realtà molto contenuti. In tutte le configurazioni la deformazione sta abbondantemente sotto il millimetro, un valore decisamente accettabile considerate le dimensioni della macchina. La situazione mostrata in Figura 5.14 può essere migliorata semplicemente ponendo 2 o 4 ulteriori piedini nelle vicinanze del centro del telaio. Sono state indagate anche le tensioni e anche in questo caso non si riportano valori preoccupanti. Naturalmente si

ricorda che i valori di deformazione e tensione ottenuti da questa analisi sono da considerarsi attendibili solo in un'ottica globale. Le deformazioni così individuate saranno indicative del comportamento globale del telaio. Le tensioni ottenute invece saranno valide in corrispondenza di zone del telaio che non verranno perturbate da foratura o discontinuità di qualsiasi genere. Su questo punto si ritornerà più avanti quando si parlerà di realizzazione della modularità reale. Localmente i valori reali saranno molto diversi da quelli globali individuati una volta definiti i gruppi funzionali e come questi si interfacciano al telaio e quindi il modo in cui scaricano le loro forza.

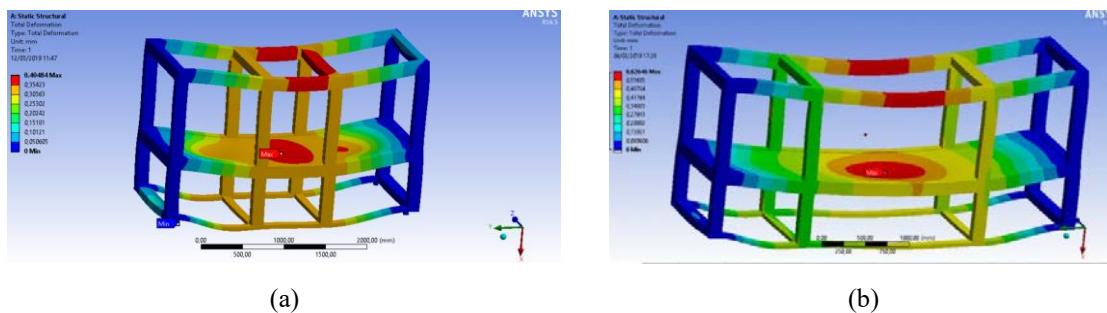


Figura 5.14 Deformazioni in fase di funzionamento per il telaio a) più corto e b) più lungo

Oltre all'analisi sopra riportata, legata al funzionamento della macchina, è stato considerato anche un secondo caso: la movimentazione. Movimentare la macchina è un'azione svolta principalmente in fase di montaggio della stessa e di collocamento della macchina in sede dal cliente. Il telaio passa dalla carpenteria, dove viene costruito, all'assemblaggio, dove viene montata tutta la componentistica. Poi carico di tutto il suo peso viene spostato in collaudo dove la macchina viene testata e regolata prima di essere spostata di nuovo prima dell'imballo. Una volta imballata viene spedita e raggiunto il cliente finale viene nuovamente movimentata per collocarla dove dovrà operare. Sebbene la macchina si trovi in questa condizione per pochi attimi della sua vita è importante assicurarsi che la struttura sostenga i carichi che si sviluppano. A maggior ragione se si considera il metodo utilizzato per lo spostamento della macchina: il muletto. Questo utilizza una forca con apertura variabile, cioè è possibile variare la distanza che separa le due forche e adattarla ad oggetti lunghi. Il muletto usato in azienda presenta un'apertura massima della forca di sollevamento di 1,35 metri. L'apertura risulta ottimale per macchine piccole, non più lunghe di 4/4,5m. Sollevare macchine superiori a questa misura risulta difficoltoso e può portare a deformazioni non

indifferenti. Nel caso del nuovo telaio della RG50 la configurazione più lunga arriverebbe a circa 4,5 metri; considerando anche l'armadio elettrico si raggiungono circa 5 metri. Si ritiene di dover effettuare un'analisi del telaio soggetto ai vincoli e ai carichi in fase di spostamento.

Rispetto all'analisi precedente viene effettuato un leggero cambiamento di carichi e vincoli. Viene annullato il carico esercitato dalla pressa che si verifica solo in fase di funzionamento della macchina e il verso mostrato in Figura 5.13 b) cambia. Tutti i vincoli precedenti vengono eliminati e sostituiti da un vincolo applicato sulla parte inferiore e centrale del telaio. Il vincolo si presenta come mostrato in Figura 5.15 per cercare di rappresentare al meglio la zona di contatto tra telaio e forca. Su queste superfici tutti i gradi di libertà vengono bloccati per simulare l'appoggio della forca del muletto.

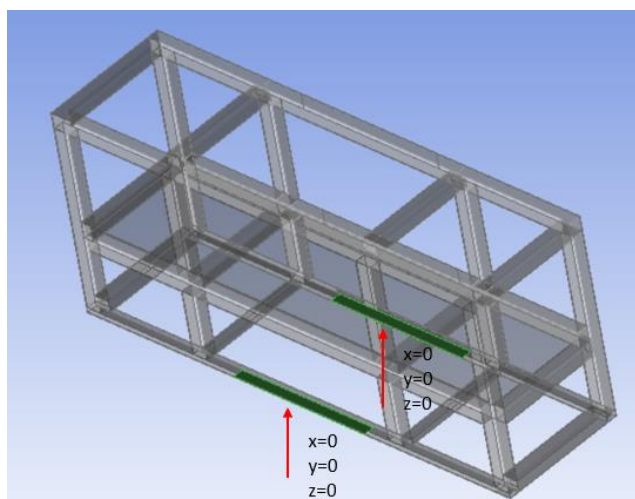


Figura 5.15 Vincolo movimentazione

Il vincolo è stato applicato in centro macchina in via semplificativa. In realtà il centro di massa si trova spostato leggermente verso l'armadio elettrico per cui il muletto solleverà la macchina in una posizione leggermente diversa da quella che viene considerata per l'analisi. Questo punto verrà ripreso più avanti per considerazioni legate alla realizzabilità della modularità anche sul componente reale.

I risultati ottenuti dall'analisi in fase di funzionamento presentata prima e da quella in fase di movimentazione sono visibili in Tabella 5.12

Tabella 5.12 Risultati analisi strutturale in fase di funzionamento e movimentazione macchina

		Configurazione 1 - Telaio con modulo centrale di 254 mm				Configurazione 2 - Telaio con modulo centrale di 508 mm			
		Macchina funzionante	Punto di giunzione modulo a macchina funzionante	Trasporto macchina	Punto di giunzione modulo durante trasporto macchina	Macchina funzionante	Punto di giunzione modulo a macchina funzionante	Trasporto macchina	Punto di giunzione modulo durante trasporto macchina
Deformazione max (mm)		0,40484	0,36771	0,6381	0,2159	0,4687	0,3822	0,6628	0,2253
Taglio max (Mpa)		9,5685	0,56343	8,435	-0,0071	12,966	0,48469	10,648	1,6655
Taglio min (Mpa)		-7,8453	-0,52512	-10,167	-2,0089	-10,053	-0,74634	-13,162	-0,1676
Stress von mises (Mpa)		26,349	7,0302	31,853	9,4358	40,304	6,4831	34,871	9,1986
Stress normale max (Mpa)		26,799	6,4494	34,676	5,6709	26,175	6,0047	34,712	6,0888
Stress normale min (Mpa)		-23,678	-7,4007	-25,669	-9,2774	-48,446	-6,9503	-28,052	-8,8008

		Configurazione 3 - Telaio con modulo centrale di 1143 mm				Configurazione 4 - Telaio con modulo centrale di 1270 mm			
		Macchina funzionante	Punto di giunzione modulo a macchina funzionante	Trasporto macchina	Punto di giunzione modulo durante trasporto macchina	Macchina funzionante	Punto di giunzione modulo a macchina funzionante	Trasporto macchina	Punto di giunzione modulo durante trasporto macchina
Deformazione max (mm)		0,6329	0,48967	1,5166	0,8712	0,6586	0,50199	1,9477	1,1653
Taglio max (Mpa)		11,995	1,0817	35,084	0,0711	9,09	1,0338	34,808	29,655
Taglio min (Mpa)		-9,2774	-1,0449	-17,25	-1,7145	-9,5032	-1,2153	-39,509	-5,0396
Stress von mises (Mpa)		25,021	5,5498	96,42	7,1696	31,443	5,166	103,84	53,954
Stress normale max (Mpa)		26,815	5,6328	67,424	5,3754	26,348	5,2792	100,17	42,387
Stress normale min (Mpa)		-28,25	-5,6362	-72,997	-6,9435	-28,627	-5,5205	-95,794	-12,586

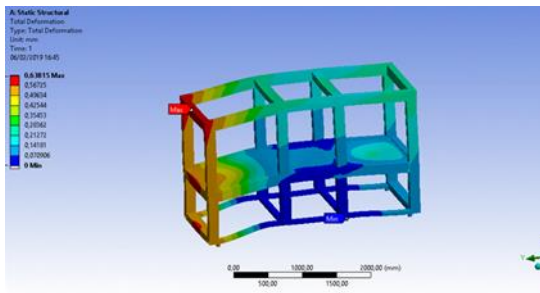
		Configurazione 5 - Telaio con modulo centrale di 1397 mm				Configurazione 6 - Telaio con modulo centrale di 1524 mm			
		Macchina funzionante	Punto di giunzione modulo a macchina funzionante	Trasporto macchina	Punto di giunzione modulo durante trasporto macchina	Macchina funzionante	Punto di giunzione modulo a macchina funzionante	Trasporto macchina	Punto di giunzione modulo durante trasporto macchina
Deformazione max (mm)		0,64877	0,51872	2,5001	1,5373	0,6265	0,49976	2,9121	1,8378
Taglio max (Mpa)		9,7687	1,1804	35,11	14,418	8,3492	1,4276	36,421	28,108
Taglio min (Mpa)		-10,476	-1,1381	-32,854	-10,83	-8,8366	-1,4593	-36,608	-9,6388
Stress von mises (Mpa)		30,694	5,0898	130,01	125,73	20,785	4,7691	120,06	113,26
Stress normale max (Mpa)		26,02	5,1623	122,2	122,2	23,482	0,64125	115,35	3,5471
Stress normale min (Mpa)		-45,787	-4,7385	-131,97	-131,97	-19,073	-0,23948	-120,73	-14,444

I dati riportati in Tabella 5.12 sono relativi alle due condizioni a cui la macchina, e quindi il telaio, sarà soggetta. Le condizioni sono a macchina funzionante e durante il trasporto, come scritto sopra. Sotto le voci “macchina funzionante” e “trasporto macchina” sono state riportate le deformazioni e le tensioni considerando il telaio nella sua interezza. Sotto le altre due voci sono stati riportati invece le deformazioni e tensioni in corrispondenza del punto di giunzione tra le porzioni standard e il modulo flessibile, sempre durante le fasi di funzionamento e di trasporto. Queste ultime due colonne ci forniranno informazioni utile per le considerazioni che verranno fatte al capitolo 6.

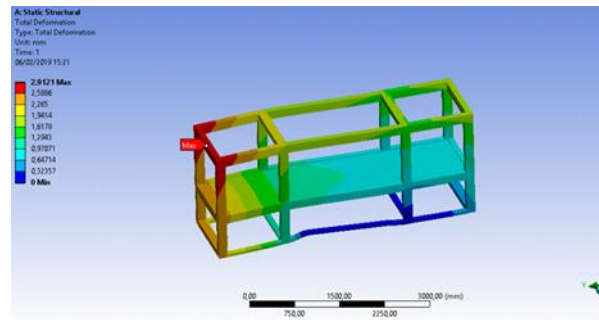
In fase di funzionamento della macchina come già scritto, le deformazioni sono minime. Superano il mezzo millimetro solo per le configurazioni con modulo flessibile di lunghezza superiore ai 508 mm. Anche le tensioni che si sviluppano con i carichi applicati non raggiungono mai valori preoccupanti. Il massimo valore di tensione equivalente di Von Mises si ha per la configurazione 2, con un valore di 40 MPa.

La situazione cambia se si considera anche la fase di trasporto della macchina. In questo caso il carico dovuto alla pressa sparisce ma la condizione di vincolo imposta per simulare il sollevamento del muletto porta alla nascita di tensioni di molto superiori al caso precedente. Si opera comunque al di sotto della tensione di snervamento dell'acciaio ma si iniziano a raggiungere valori superiori ai 100 MPa. Ad esempio, il massimo valore di tensione di Von Mises si ha per la configurazione 5 con 130 MPa. Si ricorda comunque che i carichi imposti sono ulteriore elemento di sicurezza essendo molto maggiori di quelli reali.

Nel caso del trasporto anche le deformazioni assumono valori maggiori come visibile in Figura 5.16; questo è sempre imputabile al metodo di sollevamento non ottimale. Si ricorda che in Figura 5.16 le deformazioni sono accentuate per essere più visibili. Si nota che per qualsiasi configurazione le deformazioni del telaio sono maggiori rispetto alla condizione di funzionamento. Questo raggiunge valori di quasi 3 millimetri per la configurazione più lunga.



(a)



(b)

Figura 5.16 Deformazioni in fase di trasporto per il telaio a) più corto e b) più lungo

Considerate le dimensioni delle macchine in questione deformazioni di pochi millimetri possono essere considerate accettabili.

In sintesi, queste analisi ci hanno permesso di verificare la capacità di resistere ai carichi di esercizio della struttura telaio definita. Le tensioni non sono mai tali da portare a fallimento la struttura e le deformazioni non destano preoccupazione.

Capitolo 6

Piattaforma modulare virtuale e reale

In questo capitolo vengono presentate due strade per l'implementazione della piattaforma modulare nel contesto Galdi. La prima si limita a introdurre la modularità in campo progettuale, mentre la seconda fa un passo ulteriore e si estende all'ambito produttivo, realizzando una modularità reale.

6.1 Piattaforma modulare virtuale

Questo primo metodo di implementazione del concetto di piattaforma modulare applicato al telaio è quella che interessa maggiormente l'azienda. Come riportato nei primi capitoli uno dei motivi principali per cui un'azienda è spinta allo sviluppo di una piattaforma di prodotto è sicuramente l'incremento dell'economia di scala. Trovare una base comune a più beni prodotti in volumi elevati garantisce un costo minore al pezzo e l'economia di scala cresce. Nel caso Galdi la premessa base, cioè l'elevato volume produttivo, viene meno. L'azienda come si può vedere in Figura 5.1 produce pochi pezzi all'anno su commessa. Se si escludono gli anni 2009 e 2019, poiché incompleti nei dati di vendita, l'azienda ha mediamente prodotto e venduto ogni anno circa 35 macchine. Questo numero da solo non giustifica l'adozione di una piattaforma flessibile, se l'intenzione è perseguire l'economia di scala.

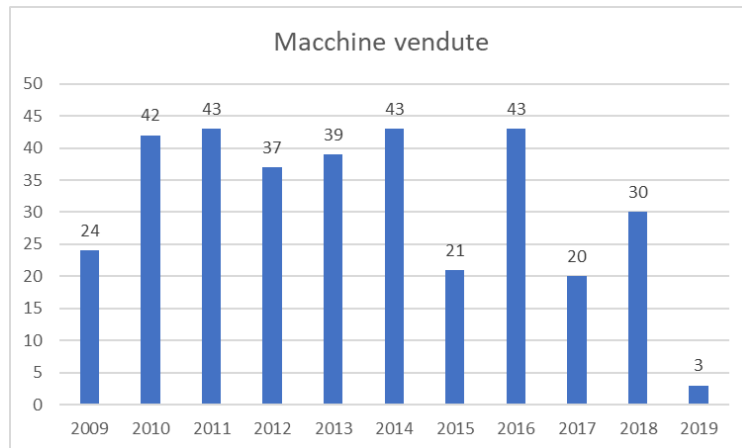


Figura 6.1 Dati di vendita macchine Galdi

La piattaforma però può tornare utile alla Galdi in un altro modo. L'azienda è costituita da tre macro-aree: ufficio vendite, ufficio tecnico e produzione. Le vendite si occupano di individuare i clienti e avviare le commesse delle macchine; queste arrivano all'ufficio tecnico e qui a seconda del tipo di commessa si verificano due diverse possibilità. Se la macchina è già stata progettata in passato è sufficiente prendere i disegni dei componenti fatti in precedenza e passarli agli acquisti che si occupano di lanciare gli ordini. Se la macchina è nuova invece deve essere progettata. Una volta passata dall'ufficio tecnico la commessa arriva in produzione e qui la macchina, partendo dalla carpenteria, passando per l'assemblaggio e infine arrivando al collaudo, viene completata. Si possono individuare due condizioni estreme in grado di mettere in difficoltà l'azienda, in particolare l'ufficio tecnico e la produzione:

- Solo commesse di macchine già progettate;
- Solo commesse di macchine da progettare.

Se si verifica la prima condizione, la produzione diventa il collo di bottiglia del sistema mentre l'ufficio tecnico è scarico, dato che impiega poco tempo a gestire la commessa. Con la seconda condizione, invece, il collo di bottiglia è l'ufficio tecnico e in particolare la progettazione, mentre la produzione è scarica. Naturalmente la condizione reale non è nessuna delle due riportate ma una combinazione di queste, che si traduce generalmente in una maggiore difficoltà della progettazione a gestire le commesse. La situazione è ulteriormente aggravata dall'irregolarità della domanda. Lo schema che si ripete ogni anno è una alternanza di periodi di assenza di vendite e di picchi di ordini. Purtroppo il prodotto non permette di prevedere l'andamento della

domanda quindi è necessario trovare altre soluzioni. Una di queste è la piattaforma modulare che nel caso di questo lavoro è stata applicata al solo telaio; l'intenzione futura è estenderla a tutta la macchina. Perché la modularità possa dare dei vantaggi alla progettazione è sufficiente che questa sia introdotta come concetto solo in campo virtuale. Con virtuale si intende qualcosa che non è reale. L'intenzione è quindi di sfruttare i vantaggi della piattaforma e della modularità rimanendo solo in ambito di progettazione software. Nel caso del telaio i moduli definiti in precedenza saranno utilizzati per limitare lo sforzo progettuale. Sarà sufficiente progettare una prima volta i moduli di testa e coda del telaio, cioè i componenti standard, e poi limitarsi a richiamarli al bisogno. Quando l'ufficio tecnico riceverà la richiesta di progettare una nuova RG50 sarà sufficiente richiamare i due moduli standard nel software di progettazione e concentrarsi a riprogettare solamente la porzione centrale, cioè il modulo flessibile. I vantaggi che può portare questo approccio sono:

- **Riduzione tempi di progettazione.** La progettazione delle due porzioni standard permette di concentrarsi esclusivamente sulla porzione di telaio che abilita, tramite cambi di lunghezza, l'introduzione di nuovi gruppi funzionali. Qualsiasi commessa si riceva sarà sufficiente progettare la parte centrale del telaio sulla base dei gruppi funzionali che verranno introdotti in macchina. Per come è stato strutturato il telaio l'incertezza legata alla richiesta del cliente viene totalmente assorbita dal modulo flessibile centrale;
- **Semplificazione gestione attuale.** Attualmente la RG50 in tutte le sue versioni viene derivata a partire da tre telai di lunghezza definita. Si può affermare che queste tre sono le piattaforme su cui si basano tutte le configurazioni progettate e commercializzate attualmente per la RG50. I telai sono di lunghezza 3050 mm, di 3500mm e di 4000 mm. La prima viene usata attualmente per le macchine base, mentre le altre due lunghezze sono per le macchine con disinfezione. L'ultima in particolare è in grado di accogliere il formato 2 litri; è questo il motivo della lunghezza maggiore. Da una di queste tre piattaforme, tramite l'aggiunta di file di taglio specifici per ogni commessa, si deriva il telaio. Il codice telaio includerà una delle tre piattaforme e i file di taglio necessari. Attualmente nel gestore dell'azienda sono presenti 18 codici telaio RG50. I codici si riducono a 14 escludendo quelli associati a commesse custom, quindi commesse non standard. Il telaio modulare concepito permetterebbe di gestire i codici in modo più intelligente senza la necessità di aggiungere complessità con

i file di taglio. Al modulo di testa e di coda saranno attribuiti rispettivamente due codici fissi, mentre alla parte centrale un codice diverso per ogni configurazione. Alla macchina nel suo insieme verrà poi attribuito un codice derivato dalla combinazione dei tre precedenti. Il numero di codici telaio sarà pari al numero di configurazioni del modulo centrale della macchina;

- **Riduzione dei tempi di attesa.** Un ufficio tecnico più rapido nel gestire le commesse si traduce in una riduzione del tempo ciclo totale. Sebbene il tempo di consegna di una macchina dipenda non solo dal tempo ciclo ma anche da come questa commessa si relazioni con le altre commesse si può comunque assumere una riduzione del tempo di consegna al cliente.

Gli svantaggi principali invece sono:

- **Tempi di progettazione iniziale maggiori e costi iniziali maggiori.** La progettazione delle parti standard del telaio prevede che anche le interfacce dei gruppi funzionali siano standardizzate. In questo modo è possibile scambiare i gruppi funzionali senza dover modificare il telaio. Questo approccio richiede un tempo maggiore di progettazione iniziale che si traduce in costi maggiori;
- **Rischio di limitazione nell'innovazione delle parti di testa e coda della macchina.** La standardizzazione delle porzioni di testa e coda del telaio potrebbe limitare le spinte innovative su questi elementi che tendono a rimanere invariati nel tempo

6.1.1 Implementazione piattaforma nel programma di modellazione solida (Creo)

Una volta definito il telaio il passo successivo è stato di quello di implementare il concept nel programma Creo, software di modellazione solida usata dall'azienda. Il primo passo è stato creare un file assieme, che in futuro accoglierà tutta la macchina completa. Subito dopo è stata introdotta una parte scheletro, da usare come struttura base di tutta la macchina. Lo scheletro è una parte a tutti gli effetti ma priva delle caratteristiche tipiche di quest'ultima. Questa struttura base non è altro che una rappresentazione schematica del concept del telaio modulare definito sopra. Nello sketch vengono riportate tutte le misure che definiscono il telaio e i suoi moduli,

definite a partire dal centro della giostra che viene preso come punto fisso della macchina. A questo viene aggiunto uno sketch rappresentativo del percorso del cartone in macchina come visibile in Figura 6.2. Quest'ultimo è individuabile grazie alla fitta presenza di sistemi di riferimento locali posizionati su di esso. Questi sono rappresentativi delle stazioni macchina e ognuno dista dall'altro 127 mm, il nuovo passo unico.

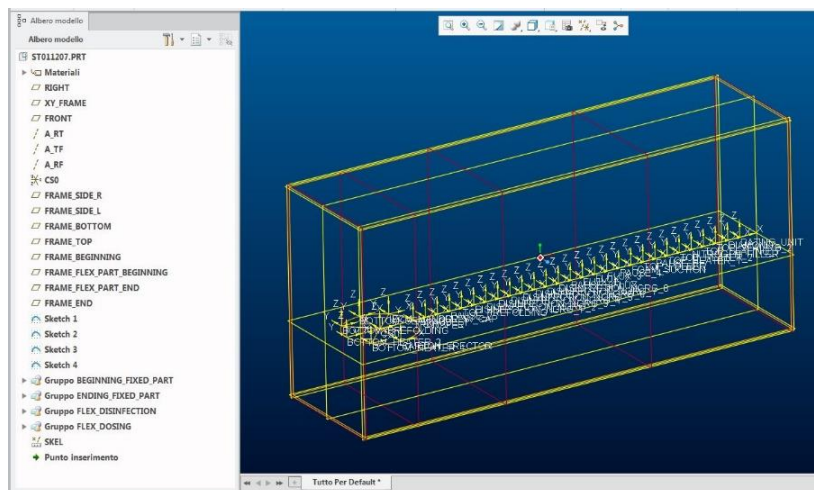


Figura 6.2 Rappresentazione del nuovo telaio

Per le analisi statiche effettuate al capitolo §5 erano stati creati sei assiemi differenti per ogni configurazione del telaio rendendo molto complessa la loro gestione. Con l'utilizzo della parte scheletro si ha il vantaggio di poter implementare la flessibilità della piattaforma modulare in un unico assieme. Per poter gestire questa flessibilità si crea un file Excel che controllerà le grandezze presenti sul file cad. Infatti, Creo associa a ogni grandezza introdotta a disegno una variabile; se queste variabili vengono introdotte all'interno di un file Excel e associate alle corrispondenti variabili in Creo è possibile controllare tutte le grandezze a disegno. È sufficiente cambiare i valori sul foglio di calcolo perché questi cambino anche a disegno. In questo modo si è creato una sorta di configuratore del telaio. In questo caso da foglio Excel si è deciso di controllare non solo le dimensioni del telaio ma anche la presenza o meno dei sistemi di riferimento locali, che si ricorda essere rappresentativi delle stazioni macchina. Mentre le variabili legate alle dimensioni del telaio leggono direttamente i valori numerici riportati sul foglio Excel e lo modificano di conseguenza, quelle legate alla presenza delle stazioni

devono essere gestite in modo diverso. È necessario andare alla voce “relazioni” in Creo, dove è possibile introdurre nel codice dell’assieme un ciclo if in cui si porranno le condizioni della presenza o meno dei sistemi di riferimento locale a seconda della voce che apparirà nel menu a tendina del foglio Excel.

In Figura 6.3 è riportato il foglio Excel di controllo dell’assieme telaio con un esempio di configurazione. Il file è costituito da due fogli: il primo in Figura 6.3 a) in cui si imposta la configurazione di macchina voluta tramite menu a tendina per i vari gruppi funzionali e il secondo, associato al primo, in Figura 6.3 b) che traduce il tutto in misure. È questo secondo foglio che controlla le variabili in Creo associate alle grandezze e all’accensione e spegnimento dei sistemi di riferimento locali. Sempre in Figura 6.3 b) con il colore giallo sono indicate le grandezze fisse e stabilite in precedenza. Sotto la voce “lunghezza parte variabile calcolata” è riportata la lunghezza del modulo flessibile calcolata sulla base della configurazione impostata al primo foglio.

	A	B	C	D
1				
2	Disinfection	NGRG		
3	Dosing unit	DDF		
4	Screw cap	NO		
5	Foam Suction	YES		
6	Nitrogen Filler	YES		
7	Diamond	YES		
8	Dating Unit	YES		
9				

(a)

	A	B	C
19			
20	Lunghezza parte iniziale		
21	1485,5	mm	
22			
23	Lunghezze parte variabile possibili		
24	1524	mm	
25	1397	mm	
26	1270	mm	
27	1143	mm	
28	508	mm	
29	254	mm	
30			
31	Lunghezza parte variabile calcolata		
32	1270	mm	
33			
34	Lunghezza parte finale		
35	1485,5	mm	
36			
37	Altezza piano XY da posizione piedini		
38	710	mm	
39			
40	Altezza macchina da piano XY		
41	1290	mm	
42			
43	Larghezza macchina		
44	1200	mm	
45			
46	Configurazione macchina		
47	NGRG	Disinfection	
48	DDF	Dosing unit	
49	NO	Screw cap	
50	YES	Foam Suction	
51	YES	Nitrogen Filler	
52	YES	Diamond	
53	YES	Dating Unit	

(b)

Figura 6.3 Configuratore telaio con a) esempio di configurazione e b) relativa traduzione in misure.

Alla configurazione riportata in Figura 6.3 corrisponde l'assieme macchina mostrato in Figura 6.4

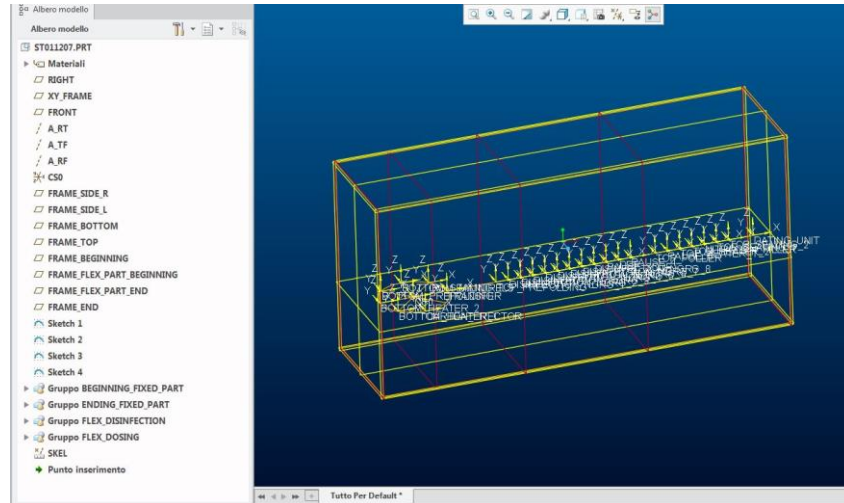


Figura 6.4 Configurazione telaio

Il configuratore di Figura 6.3 a) dà la possibilità di scegliere:

- *Disinfection* (disinfezione): NGRG (8 stazioni), 35H₂O₂ (7 stazioni) o NO (nessuna stazione, macchina priva di disinfezione);
- Dosatore: FLUX (4 stazioni), DDF (2 stazioni);
- *Screw cap* (applicatore tappo): YES (presenza), NO (assenza);
- *Foam suction* (aspiraschiuma): YES (presenza), NO (assenza);
- *Nitrogen filler* (azoto): YES (presenza), NO (assenza);
- *Diamond*: YES (presenza), NO (assenza);
- *Dating unit* (datario): YES (presenza), NO (assenza);

I primi due gruppi alterano, in base a cosa viene selezionato, sia la misura della parte variabile che la presenza o meno delle stazioni corrispondenti. Gli altri invece determinano soltanto la presenza o meno delle stazioni corrispondenti. Non modificano le misure della macchina poiché sono gruppi che rientrano nelle parti standard del telaio, che si ricorda hanno dimensioni ben definite. In Figura 6.5 e 6.6 vengono riportati gli effetti sull'assieme della presenza o meno dell'applicatore tappi.

Se si sceglie YES l'assieme presenterà tutte le stazioni dell'applicatore tappi; se si sceglie NO le stazioni si svuotano senza che il telaio adatti le sue dimensioni.

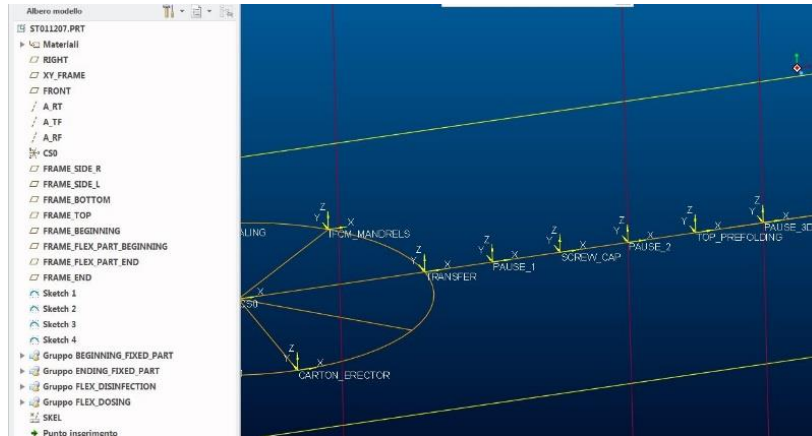


Figura 6.5 Presenza applicatore tappi

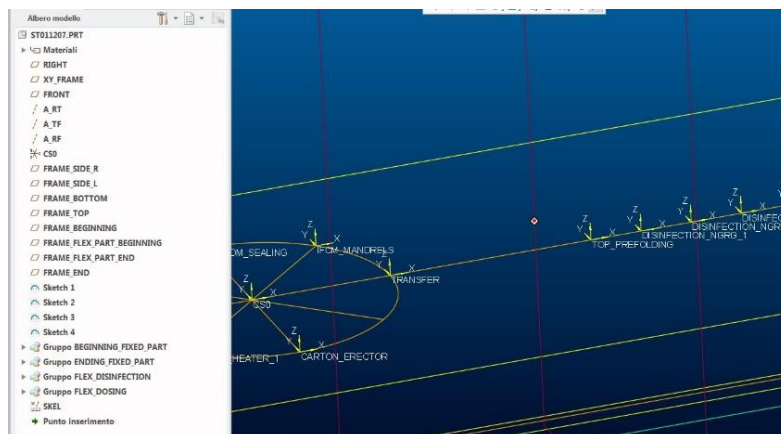
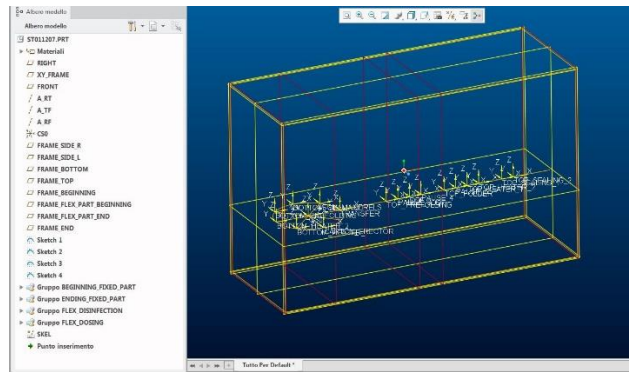


Figura 6.6 Assenza dell'applicatore tappi

In ultimo si riportano in Figura 6.7 e 6.8 rispettivamente l'assieme telaio più corto, con il numero minimo di gruppi funzionali, e quello più lungo, con il numero massimo di gruppi funzionali, e le rispettive configurazioni.

	A	B	C
1			
2	Disinfection	NO	
3	Dosing unit	DDF	
4	Screw cap	NO	
5	Foam Suction	NO	
6	Nitrogen Filler	NO	
7	Diamond	NO	
8	Dating Unit	NO	
9			
10			
11			
12			

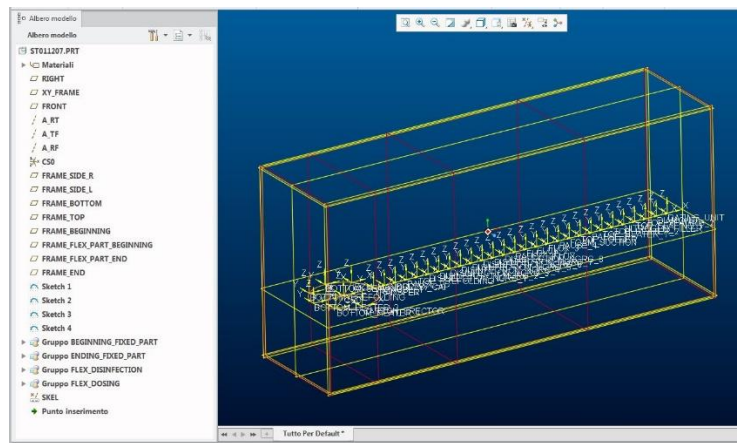


(a)

(b)

Figura 6.7 Macchina più corta a) nel configuratore e b) in Creo

	A	B	C
1			
2	Disinfection	NGRG	
3	Dosing unit	FLUX	
4	Screw cap	YES	
5	Foam Suction	YES	
6	Nitrogen Filler	YES	
7	Diamond	YES	
8	Dating Unit	YES	
9			
10			
11			
12			



(a)

(b)

Figura 6.8 Macchina più lunga a) nel configuratore e b) in Creo

Avendo associato lo scheletro a questo configuratore è possibile ottenere la configurazione di telaio voluta semplicemente modificando il foglio Excel. Sullo scheletro adattabile si monteranno i gruppi funzionali della macchina. In questo modo quando il telaio verrà modificato tramite configuratore i gruppi funzionali, “trascinati” dallo scheletro si adatteranno di conseguenza, senza necessità di doverli riposizionare.

La fase successiva sarà quella di lavorare sui gruppi funzionali per renderli modulari. Come si è visto, un primo passo in questa direzione è già stato fatto circoscrivendo le funzioni a specifici elementi fisici. Il passo successivo è la creazione di interfacce standard per ogni variante dei gruppi funzionali. Attualmente a seconda del cartone i gruppi hanno diverse varianti che si interfacciano in modo diverso al telaio. La volontà è quella di far convergere tutte queste varianti in un modulo unico che presenti

interfacce standard e che la parte a contatto con il cartone sia l'unico elemento variabile. Di fatto quindi si passa per il concetto di piattaforma creando, una base comune a da cui partire per ottenere le varianti del gruppo funzionale. Questa operazione, di suddivisione dei gruppi in parte standard e variabile è già stata fatta per la NGRG fornendo un precedente utile per il progetto della RG50. Infatti, i gruppi della NGRG verranno utilizzati, opportunamente adattati, come base per i gruppi della 50. Gli adattamenti principali saranno dovuti al nuovo passo unico e al passaggio da due a un solo cartone lavorato. Come riportato sopra si passerà poi a introdurli sul telaio.

6.2 Piattaforma modulare reale

Come riportato al paragrafo 6.1 uno dei problemi principali dell'azienda l'imprevedibilità della domanda. Una soluzione potrebbe essere rappresentata dall'estensione anche all'ambito produttivo del concetto di piattaforma modulare. Dato che la domanda non è prevedibile si potrebbero produrre i moduli standard del telaio a magazzino. La domanda però è anche irregolare; spesso si manifestano con picchi e valli che si traducono in momenti di alta e bassa produzione. In corrispondenza di questi ultimi sarebbe possibile avviare la produzione dei moduli standard del telaio in modo tale che nei momenti di picco produttivo la carpenteria risulti meno carica. La possibilità di produrre a magazzino moduli della RG50 è supportata dall'elevata richiesta annua di tale macchina in relazione al totale delle vendite. Come si può vedere in Figura 6.9 la richiesta media annua di RG50, escludendo i dati degli anni 2009 e 2019 perché incompleti, si attesta intorno alle 17 unità. Il grafico di Figura 5.9 include anche i dati di vendita della RG21, una macchina non più in produzione e sostituita in toto dalla RG50.

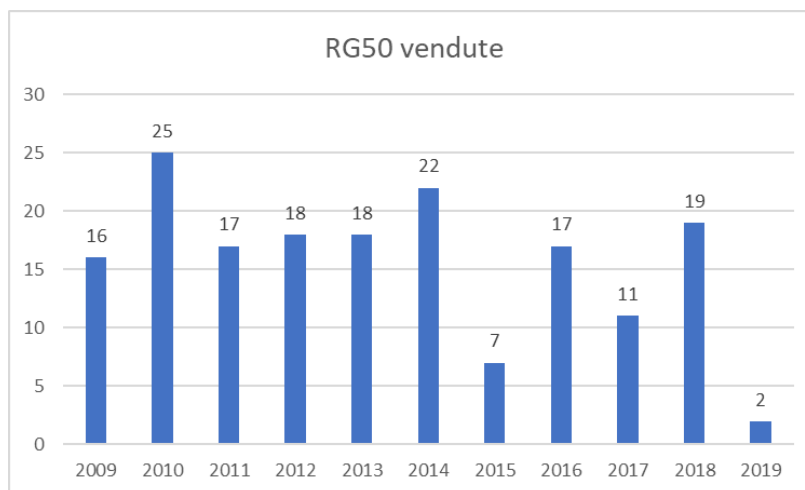


Figura 6.9 RG50 vendute all'anno

L'azienda non conserva uno storico dei Gantt delle commesse passate quindi risulta difficile risalire a eventuali momenti di scarico per la carpenteria. Per ricavare questo dato sono state cercate le ore di cassa integrazione, ferie forzate e lavori non di competenza dei carpentieri. Quando l'azienda si trova senza commesse può decidere di mettere in ferie forzate gli operatori, utilizzarli per mansioni generiche come attività di riordino o manutenzione, oppure mettere in cassa integrazione. È stato possibile ricavare il dato per il solo 2017 ma in tutti gli anni si sono verificati periodi di assenza di commesse più o meno lunghi. Per il 2017 in particolare è stato ricavato un periodo di scarico di circa 50 ore nel trimestre finale dell'anno. Questo intervallo di tempo può essere utilizzato per lanciare la produzione dei codici di testa e coda del telaio.

Prima di esporre le considerazioni relative alla modularizzazione reale, si ricordano quali potrebbero essere i suoi vantaggi e svantaggi. Tra i vantaggi troviamo:

- Attenuazione della variabilità della domanda;
- Possibilità di produrre il telaio in tempi diversi;
- Maggior facilità nel maneggiare porzioni ridotte di telaio.

Tra gli svantaggi invece:

- Costi maggiori;
- Creazione magazzino;
- Costi materiale a magazzino.

Attualmente per realizzare il telaio completo di una 50 ci vogliono dieci giorni mentre per versione UCS, ultraclean, la versione più lunga per via del sistema di disinfezione, ci vogliono 11 giorni, come si può vedere in Figura 5.10.

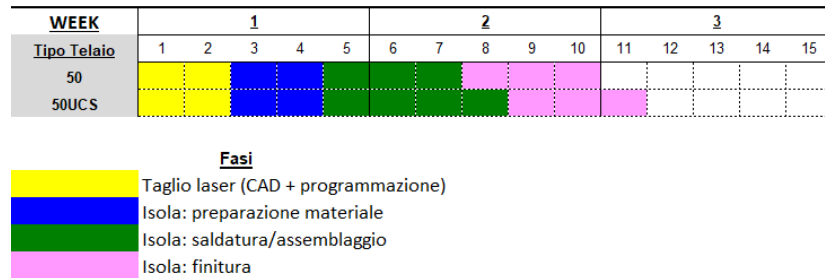


Figura 6.10 Tempi standard telai 50 e 50 UCS

Il nuovo telaio modulare presenta una disposizione diversa dei tubolari ma la struttura portante ha lo stesso numero di punti di saldatura di quello vecchio, escludendo naturalmente i punti di aggiunta del modulo flessibile. Se a questo si aggiunge che i tubolari di rinforzo e supporto saranno del tutto simili alla vecchia macchina in termini di posizionamento si può assumere che il numero di punti di saldatura sia lo stesso. Quindi si può affermare che il tempo per produrre un telaio della vecchia RG50 è molto vicino al tempo necessario a produrre le due parti standard del telaio della nuova RG50. Si assume che per produrre una parte standard del telaio modulare ci possano volere circa la metà delle ore necessarie per la realizzazione del vecchio telaio. Questo probabilmente è un valore sovrastimato dato che si possono fare le seguenti considerazioni:

- **Il numero di paratie sarà minore.** Le paratie sono gli elementi di supporto dell'albero motore e svolgono anche ruolo di rinforzo della struttura. L'albero motore, che tramite sistema di camme si occupa di tutte le movimentazioni verticali, è connesso a un unico motore che si trova in coda alla macchina. Con la nuova RG50 si vuole eliminare il singolo motore e introdurre al suo posto dei servomotori in testa e in coda al telaio dove si hanno le movimentazioni verticali. Questi due motori sarebbero collegati a due alberi, uno indipendente dall'altro. Al centro, priva dell'albero motore, la macchina non necessiterebbe più di paratie. I tempi di saldatura del telaio sarebbero inferiori;

- **Il pianale, che separa la parte superiore e inferiore della macchina e raccoglie i liquidi, sarà montato solo a telaio completo.** Quindi nel tempo produzione di uno dei moduli standard non dovrò considerare il tempo di montaggio del pianale che invece sarebbe da considerare in fase di montaggio del telaio completo;
- **Riduzione dei tempi di programmazione taglio laser.** La programmazione della macchina di taglio per il taglio del materiale dei due moduli standard sarà inferiore rispetto al taglio dello stesso quantitativo di materiale per una parte non standard dato che il file di taglio sarà sempre lo stesso. Inoltre non si dovrebbe tenere conto del tempo di taglio legato alla parte centrale del telaio che invece sarebbe da considerare in fase di montaggio del telaio completo;
- **Maggiore facilità nel muovere una porzione ridotta di telaio.** Prima di eseguire la saldatura e finitura il telaio deve essere posizionato in modo tale da agevolare le suddette operazioni. L'operatore si trova a gestire porzioni di telaio invece che un telaio completo; sicuramente ci sarà un'agevolazione nelle operazioni di spostamento e quindi una riduzione dei tempi

Si possono assumere 40 ore per una parte standard di telaio e considerarlo un valore sovrastimato. Poiché nel solo trimestre finale del 2017 si è verificato un buco produttivo in carpenteria di 50 ore, la possibilità di realizzare due parti standard in questi intervalli di tempo è tutt'altro che remota. Naturalmente per trovare il tempo totale di realizzazione del telaio bisogna sommare alle 80 ore per le parti standard quello necessario per l'aggiunta del modulo flessibile. Questo come gli altri elementi deve essere tagliato e saldato al resto della struttura. L'operazione di programmazione della macchina di taglio e il taglio in se e la preparazione del materiale sono stati inclusi nelle 40 ore necessarie per la produzione delle parti standard, come scritto sopra. Il tempo in più per produrre il telaio completo sarà rappresentato principalmente dalle operazioni di saldatura, intesa come preparazione alla saldatura, saldatura vera e propria e sua lavorazione. La prima e la terza sono le fasi che richiedono più tempo. La prima comprende la creazione degli smussi per accogliere il cordone di saldatura e la puntatura; quest'ultima operazione consiste nel posizionare e allineare in modo corretto i pezzi da saldare. La complessità della fase sta nel fatto che i pezzi hanno dimensioni importanti e posizionarli può risultare difficoltoso e richiede tempo. La terza invece è la fase che segue la saldatura vera e propria e consiste nella lavorazione di quest'ultima. Tutte le saldature vengono decappate in modo tale da pulirle da pulirle. Le saldature

esterne a vista vengono poi “tirate”, cioè viene eliminato il cordone di saldatura in rilievo. In questo modo della saldatura è visibile appena una linea sottile. Il nuovo telaio modulare presenta 12 punti in più di saldatura, attribuibili al modulo flessibile, rispetto ad un’analoga macchina con struttura integrale. La saldatura di un solo tubolare può richiedere un tempo variabile in base al tipo di giunzione. Per le saldature di tubolari testa-testa possono volerci 20 minuti mentre un po’ più tempo è richiesto per le saldature a T, circa 30 minuti. Il telaio come concepito in questa tesi presenta unicamente saldature testa-testa. Si arriva così a un tempo di saldatura di 240 minuti; il nuovo telaio richiederà circa 4 ore di lavoro in più. Considerando il costo orario di un carpentiere, pari a 23 €/h, si otterrà una maggiorazione di circa 92 euro.

Considerato il tipo di giunzione dei tubolari, testa a testa, sotto consiglio dei saldatori e del progettista che si occupa del telaio, si valuta l’applicazione di un altro elemento saldato che funga da rinforzo. Allo scopo sono state considerate due piastre da posizionare, come elemento di unione, al di sopra della saldatura precedente, come mostrato in Figura 6.11.

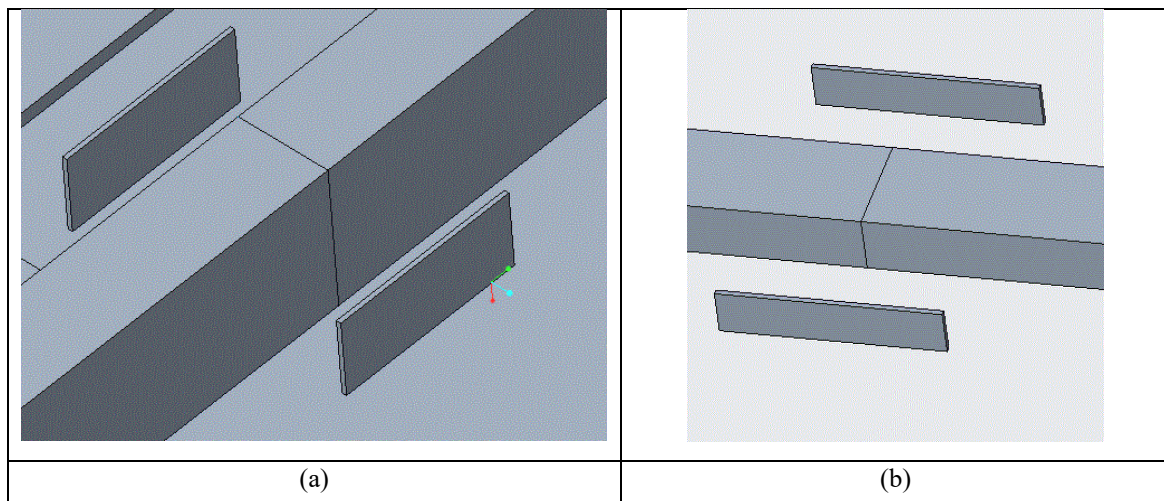


Figura 6.11 Rinforzo della giunzione con piastra a) 200x80x5 mm su tubolare 150x100x4 mm e b) 200x40x5 su tubolare 100x50x4

Considerando due piastre per ogni giunzione saldata si arriva a un totale di 24 piastre per ogni telaio. Sui tubolari 150x100x4 mm verranno utilizzate piastre 200x80x5 mm mentre sui tubolari 100x50x4 mm piastre 200x40x5 mm. Per ognuna di queste piastre, dato il tipo di saldatura e la lunghezza del cordone, si può considerare un tempo di

saldatura di 20 minuti circa. Quindi ci vogliono circa 480 minuti in più rispetto alla sola saldatura testa a testa dei tubolari. Il tempo totale di saldatura in più rispetto al telaio non modulare si attesta attorno ai 720 minuti, o 12 ore, che si traduce in una maggiorazione di costo di 276 euro. Naturalmente questa affermazione rimane valida se effettivamente il tempo richiesto per produrre i due moduli standard del telaio è lo stesso necessario a produrre l'intero telaio della stessa RG50 con la vecchia architettura. Se i due moduli standard sono stati prodotti in precedenza allora al lancio della commessa il tempo di dodici ore, un giorno e mezzo di lavoro, per produrre un telaio completo risulta sicuramente accettabile rispetto ai 10/11 giorni necessari attualmente. Per avere una suddivisione dei tempi più vicina alla realtà al tempo di saldatura di 1 giorno e mezzo andrebbero sommati i tempi di programmazione del taglio e taglio del modulo centrale, di preparazione del materiale alla saldatura e di montaggio del pianale che andrebbero sottratti dai tempi di realizzazione delle parti standard in cui sono stati considerati. In conclusione, si può stimare un tempo di 12 giorni per produrre un telaio modulare completo. Una parte standard sarà prodotta in qualcosa meno di 40 ore mentre l'aggiunta del modulo flessibile sarà effettuata in qualcosa più di 12 ore.

La differenza di tempo può essere utilizzata per produrre altri moduli standard o impiegare gli operatori in altro modo. Si può affermare che il tempo totale e i costi necessari a produrre il telaio con modularità reale sono sicuramente maggiori rispetto al telaio standard ma questo svantaggio viene limitato dalla possibilità di produrre il telaio in momenti diversi.

Per cercare di ridurre il tempo necessario ad unire le varie parti è stato considerato un nuovo metodo, tramite incollaggio. Questo metodo è ormai utilizzato da tempo dall'industria aerospaziale e automotive anche per applicazioni strutturali. I collanti principali utilizzati sono colle epossidiche il cui vantaggio principale deriva dalla riduzione di peso rispetto a metodi standard di giunzione, come la bullonatura. Nel caso del telaio della RG50 non sono state prese in considerazione tanto per questo aspetto quanto per la loro facilità d'utilizzo. Infatti è sufficiente applicare la colla sui pezzi da incollare, applicare pressione mantenendoli in posizione e aspettare che polimerizzi. Non sono necessari lavori di finitura di alcun genere se non la rimozione del collante in eccesso, operazione svolta con un semplice panno prima che il tutto solidifichi. Questo può tradursi in una riduzione di tempi e costi di giunzione. Inoltre, non è necessario personale altamente specializzato come per la saldatura. Uno degli svantaggi è

sicuramente l'elevato tempo di *curing*, o indurimento, la fase in cui le catene polimeriche si organizzano conferendo alla colla le sue proprietà caratteristiche. Una volta incollati, i pezzi devono essere lasciati in posizione un certo tempo, variabile in base al tipo di collante e alla temperatura dell'ambiente. Una delle criticità principali del metodo è rappresentata proprio dall'impossibilità di muovere i pezzi incollati fino ad avvenuto indurimento mentre un pezzo saldato assume la sua posizione definitiva istantaneamente. Per questo il telaio dovrà occupare la stazione di incollaggio fino a che la colla non si sarà indurita.

I vantaggi si possono riassumere in:

- Facilità di utilizzo;
- Riduzione tempi di giunzione.

Tra gli svantaggi invece vi sono:

- Il costo;
- Il tempo di *curing*;
- La necessità di trattare le superfici. Aumentare la rugosità delle zone di incollaggio per incrementare la superficie di adesione.

Per valutare questa possibilità in azienda si è svolto l'incontro con un rappresentante di Huntsmann. È stato proposto un collante strutturale ad alte prestazioni caratterizzato da una elevata resistenza, in particolare al taglio; test di incollaggio acciaio-acciaio riportano una resistenza al taglio di circa 25 Mpa. Perché il collante si esprima al meglio è necessario che tra le due superfici da incollare si instaurino prevalentemente sforzi di taglio. Affinchè questo accada, si decide di utilizzare lo stesso sistema di piastre proposto nel caso della saldatura. Queste verranno applicate come nel caso precedente, sovrapposte ai punti di giunzione tra modulo standard e modulo flessibile. Si ricordano i dati riportati in Tabella 5.11, riferiti ai valori in corrispondenza del punto di giunzione. Come è possibile notare la fase di funzionamento non genera tensioni preoccupanti in corrispondenza di questi punti; tantopiù se si considera che probabilmente ognuno dei due moduli standard sarà dotato di due piedini ulteriori, per permettergli di stare in piedi indipendentemente l'uno dall'altro. La vera fase critica è invece quella del trasporto. In corrispondenza del punto di giunzione, come è possibile osservare in Tabella 5.11, le tensioni che si generano sono troppo elevate soprattutto per le configurazioni più lunghe. Se nel caso della saldatura queste tensioni non

generavano troppa preoccupazione nel caso del collante potrebbero rivelarsi fatali. Il problema origina dal metodo con cui viene trasportato il telaio. Per analizzare più a fondo la questione si è deciso di fare un'ulteriore serie di analisi in cui si cambia la posizione di sollevamento. Dato che il peso maggiore si trova in testa alla macchina si decide di realizzare una simulazione più realistica in cui le forche del telaio sono spostate leggermente verso questa porzione della macchina. Nella realtà sta agli operatori, con la loro esperienza e con varie prove di sollevamento, individuare il corretto posizionamento della forza del muletto; in questa trattazione sono state stabilite tre misure fisse di distanza centro forca-centro macchina. Usando la nomenclatura presentata in Tabella 5.11 per indicare i diversi telaio, per la configurazione 1 e 2 la distanza tra centro forca e centro macchina è di 100 mm, per le configurazioni 3 e 4 di 200 mm mentre per le configurazioni 5 e 6 di 300 mm. Questi valori vengono usati per lo spostamento del vincolo rappresentativo del punto di contatto del telaio con la forca. Nelle nuove simulazioni si ottengono dei valori di tensione in corrispondenza dei punti di giunzione molto più bassi, come riportato in Tabella 6.1. La riduzione riguarda sia gli sforzi di taglio che le tensioni normali.

Tabella 6.1 Risultati analisi strutturale in fase di movimentazione macchina con muletto spostato verso testa macchina

	Configurazione 1 - Telaio con modulo centrale di 254 mm		Configurazione 2 - Telaio con modulo centrale di 508 mm	
	Trasporto con forca muletto spostata verso armadio elettrico di 0,1 m	Giunzione trasporto con forca muletto spostata verso armadio elettrico di 0,1m	Trasporto con forca muletto spostata verso armadio elettrico di 0,1 m	Giunzione trasporto con muletto spostato verso armadio elettrico di 0,1 m
Deformazione max (mm)	0,66369	0,21631	0,63327	0,20325
Taglio max (Mpa)	9,4943	0,96748	10,253	1,5883
Taglio min (Mpa)	-25,413	-1,1978	-9,9116	-0,3968
Stress von mises (Mpa)	54,074	8,2252	30,451	8,9363
Stress normale max (Mpa)	34,502	4,6521	33,799	5,6799
Stress normale min (Mpa)	-37,963	-8,0786	-26,635	-8,5583

	Configurazione 3 - Telaio con modulo centrale di 1143 mm		Configurazione 4 - Telaio con modulo centrale di 1270 mm	
	Trasporto con forca muletto spostata verso armadio elettrico di 0,2 m	Giunzione trasporto con muletto spostato verso armadio elettrico di 0,2 m	Trasporto con forca muletto spostata verso armadio elettrico di 0,2 m	Giunzione trasporto con muletto spostato verso armadio elettrico di 0,2 m
Deformazione max (mm)	0,92621	0,4481	1,3345	0,8028
Taglio max (Mpa)	17,597	6,411	22,701	21,45
Taglio min (Mpa)	-19,01	-1,397	-23,538	-0,3554
Stress von mises (Mpa)	62,758	11,477	77,36	38,14
Stress normale max (Mpa)	64,907	4,0445	77,88	18,642
Stress normale min (Mpa)	-62	-5,4906	-83,171	-21,96

	Configurazione 5 - Telaio con modulo centrale di 1397 mm		Configurazione 6 - Telaio con modulo centrale di 1524 mm	
	Trasporto con forca muletto spostata verso armadio elettrico di 0,3 m	Giunzione trasporto con muletto spostato verso armadio elettrico di 0,3 m	Trasporto con forca muletto spostata verso armadio elettrico di 0,3 m	Giunzione trasporto con muletto spostato verso armadio elettrico di 0,3 m
Deformazione max (mm)	3,2762	2,1324	3,8772	2,583
Taglio max (Mpa)	43,26	0,92027	32,884	0,6441
Taglio min (Mpa)	-28,548	-19,547	-25,304	-9,9117
Stress von mises (Mpa)	111,72	35,168	111,12	27,657
Stress normale max (Mpa)	102,39	9,8689	100,96	2,1581
Stress normale min (Mpa)	-114,98	-9,8929	-112,83	-0,2939

In Tabella 6.1 sotto la voce “Trasporto con forca muletto spostata verso armadio elettrico di x m” si trovano i valori globali del telaio. Sotto la voce “Giunzione trasporto con muletto spostato verso armadio elettrico di x m” invece si trovano i valori in corrispondenza del punto di giunzione tra moduli standard e modulo flessibile. In Figura 6.12 è riportata un esempio di valutazione dei risultati della simulazione in corrispondenza del punto di giunzione.

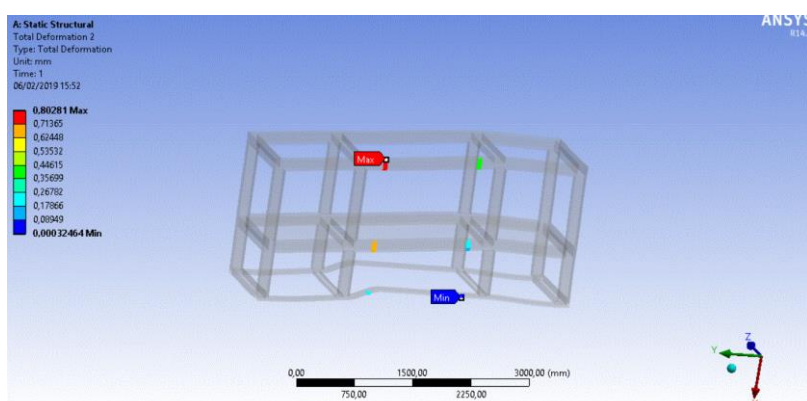


Figura 6.12 Analisi in corrispondenza dei punti di giunzione (fase trasporto con muletto spostato)

Naturalmente i risultati di queste simulazioni non sono sufficienti da soli a confermare il metodo di incollaggio come una valida alternativa per questa particolare applicazione; tantopiù se si considera che la tenuta strutturale dipende da come viene sollevata la macchina nella fase di trasporto. Sono richiesti ulteriori approfondimenti e test di tenuta della colla in applicazioni così delicate.

Il processo di incollaggio prevede le seguenti fasi:

1. Preparazione del collante;
2. Posizionamento delle parti;
3. Incollaggio;
4. Applicazione di pressione sulle parti interessate e eliminazione del collante in eccesso
5. Mantenimento delle parti in posizione fino a solidificazione.

Le fasi attive, quelle che impegnano gli operatori, che richiedono più tempo sono il posizionamento delle parti, presente anche per la saldatura, e l'applicazione di pressione

tramite morse o altri organi meccanici sulla superficie di incollaggio. Anche la fase di mantenimento delle parti in posizione richiede molto tempo ma non impegna gli operatori che sono liberi di svolgere altri compiti. Alla luce di quanto detto si può assumere una significativa riduzione dei tempi di giunzione, inteso come tempo di lavoro richiesto al carpentiere. Purtroppo non è stato possibile testare il collante per definire i tempi di applicazione e di resistenza dello stesso. È stata fatta una stima dei costi sul materiale utilizzato considerando le superfici di incollaggio e lo spessore della colla. La superficie delle piastre da incollare, che coincide anche con la superficie di incollaggio, è pari a quella delle piastre presentate nel caso della saldatura. Si ricorda che le piastre hanno dimensioni 200x80x5 mm e 200x50x5 mm. Da scheda tecnica lo spessore ottimale dello strato di colla è 0,05-0,1 mm. Per tenere in considerazione lo spreco di materiale è stato assunto uno spessore di collante pari a 0,2 mm. Considerando il numero di piastre e il volume di colla utilizzato per ogni piastra il costo del materiale totale utilizzato per incollare il telaio è di circa 160 euro. A questo valore si deve sommare il costo della manodopera dipendente dal tempo di incollaggio. Se il valore totale fosse inferiore ai 276 euro stimati per la saldatura questo rappresenterebbe una valida alternativa dal punto di vista dei costi. L'incollaggio comunque mantiene il suo vantaggio fondamentale con la riduzione del tempo di lavoro dell'operatore, che può essere impiegato per altre attività.

I dubbi principali legati all'utilizzo della colla sono stati sollevati in relazione alla particolare applicazione considerata in questa sede. Infatti, l'intenzione è quella di usare il collante per tenere assieme il telaio della macchina, che svolge un ruolo primario nel garantire l'integrità della stessa. Questi dubbi svaniscono nel caso in cui la colla venga applicata su elementi di importanza minore dal punto di vista strutturale, come ad esempio il pianale, che separa parte alta e bassa della macchina. In questi casi si riuscirebbero a sfruttare appieno i vantaggi offerti dall'incollaggio senza rischi di tenuta.

Conclusioni

In questo elaborato è stato proposto un metodo per definire una piattaforma flessibile, il cui scopo è ridurre la complessità derivante da un'elevata varietà esterna di prodotto e allo stesso tempo far fronte a un ambiente incerto. Per fare questo si è partiti analizzando i metodi presenti in letteratura con particolare enfasi su quelli applicati in campo automotive. Lo studio dell'architettura di prodotto adottata in questo settore competitivo è servita come fonte di ispirazione e di informazioni per definire il metodo proposto. Ci si è volutamente mantenuti ad un livello più generale rispetto ai metodi analizzati, già calati in un contesto specifico, permettendo così una più ampia applicabilità del sistema. Il risultato è un metodo che serve a guidare lo sviluppo di una piattaforma e adattabile ad ogni contesto. Viene lasciata al progettista la libertà e l'onere di individuare gli strumenti migliori da applicare di volta in volta a seconda del caso specifico. A titolo di esempio viene presentata l'applicazione del sistema al caso Galdi con la macchina riempitrice RG50. Quanto riportato in questo elaborato si è limitato alla sola definizione della piattaforma telaio data la sua sensibilità maggiore al cambiamento. Il passo successivo, nel caso di Galdi, potrebbe essere rappresentato dall'applicazione del metodo anche agli altri elementi della macchina soggetti ad incertezza. Il risultato sarebbe una piattaforma di macchina costituita non solo dal telaio ma da tutte le sue parti standard e in grado di adattarsi all'ambiente incerto tramite l'introduzione degli elementi flessibili di macchina. Questo permetterebbe di evolvere ulteriormente quanto proposto al paragrafo §6.2 dove viene introdotta la possibilità di produrre preassemblati relativi alle porzioni di testa e coda del telaio. Di fatto questi preassemblati potrebbero contenere tutte le componenti standard della macchina presenti in testa e coda. Si avrebbero così dei preassemblati che per essere completati necessitano unicamente dei moduli unici o flessibili specifici della commessa. Il tutto si tradurrebbe in una riduzione dei tempi di progettazione e di produzione mantenendo comunque elevata la varietà di prodotto. Inutile dire che un tale approccio comporterebbe un cambiamento radicale nel sistema produttivo adottato finora dall'azienda.

In conclusione, il metodo rappresenta una guida per lo sviluppo di una piattaforma flessibile che le aziende possono adottare come punto di partenza e adattare in base al contesto e alle esigenze. Si presta bene ad essere applicata più volte per lo stesso

prodotto variando ogni volta il gruppo funzionale da analizzare, fino all'ottenimento di una piattaforma di prodotto completa.

Bibliografia

Buiga A. Investigating the role of MQB platform in Volkswagen group's strategy and automobile industry, *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences* September 2012, Vol. 2, No. 9, 2012

Cameron, B.G., Costing commonality: evaluating the impact of platform divergence on internal investment returns, 2011

Cameron, B.G. and Edward F.C. "Crafting Platform Strategy Based on Anticipated Benefits and Costs." *Advances in Product Family and Product Platform Design* (July 2013): 49–70, Springer Science Business Media New York, 2014

Diffner, B., Combining Flexibility and Efficiency in Automotive Assembly- Preparing for New Powertrain Vehicles, 2011

Eckert, C., Clarkson, P.J. and Zanker, W. Change and customisation in complex engineering domains *Research in Engineering Design*, 15: 1-21, 2004

Hackenberg, U., Modular Matrix: diversity through standardization, No. 2, March 2012

Hou, W. et al. Modular platform optimization in conceptual vehicle body design via modified graph-based decomposition algorithm and cost-based priority method, 2016

Ikeda, M., Product development by Japanese auto industry, *Proceedings of the International Conference on New Product Development and Production Networks. Learning from Experience in Different Industries and Countries*, Berlin, 20-22 March, 1997

Lampon, J.F., Frigant, V., Cabanales, P., The new automobile modular platforms: from the product architecture to the manufacturing network approach, 2017

Martin, M.V. and Ishii, K., Design for variety: Developing standardized and modularized product platform architectures, *Research in Engineering Design* 13, 213-235, 2002

Muffatto, M., Introducing a platform strategy in product development, 1999

Qian, M. et al., Flexible Product Platform Based on Design Parameters, 2017

Sanchez R., Creating modular platforms for strategic flexibility, 2004

Sanderson, S. and Uzumeri, M., Managing product families: the case of the Sony walkman. *Research Policy* 24: 761-782, 1995

Simpson, T.W., Maier, J.R. and Mistree, F. *Res Eng Design* 13: 2, 2001

Suh, E.S., Flexible Product Platform, 2005

Ulrich, K.T., Eppinger, S.D., Filippini, R., *Progettazione e sviluppo prodotto*, McGraw-Hill, Milano, 1995

Sitografia

<https://www.galdi.it/it/>, consultato il 19/11/2018

<http://www.businessdictionary.com>, consultato il 22/11/2018

<http://gemba.dk/stage-gate>, consultato il 07/01/2019

<http://gmauthority.com>, consultato il 11/02/2019

<https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/passenger-vehicle/cars/volkswagen-group-to-use-mqb-platform-to-save-costs/57469524?redirect=1>, consultato il 04/03/2019

[http://www.treccani.it/enciclopedia/economie-di-diversificazione_\(Dizionario-di-Economia-e-Finanza\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/economie-di-diversificazione_(Dizionario-di-Economia-e-Finanza)/), consultato il 04/03/2019

https://www.quattroruote.it/news/industria/2012/02/01/i_dettagli_della_piattaforma_mqb.html, consultato il 17/02/2019

<https://www.fltechnical.net/>, consultato il 04/03/2019

<https://www.econocorp.com/the-history-and-development-of-the-food-carton-industry/>, consultato il 04/03/2019

<http://www.elopak.com>, consultato il 18/02/2019