



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Gestione soluzioni tecniche per progettare pannelli di carrozzeria in composito rinforzato in fibra di carbonio conforme ai requisiti di qualità automobilistica stradale: il caso HP Composites

Management of technical solutions to design carbon fibre reinforced composite body panels complying with automotive road quality requirements: HP Composites case study

Relatore: Chiar.mo

Prof. Maurizio Bevilacqua

Correlatore:

Ing. Guerino Lattanzi

Tesi di laurea di:

Noemi Pizioli

Anno Accademico 2020/2021

INDICE

INTRODUZIONE	5
1. CAPITOLO 1: AZIENDA HP COMPOSITES	8
1.1 Hp Composites	8
1.2 Hp Composites: I Mercati	11
1.3 Hp Composites: Le Tecnologie	15
1.4 Hp Composites: Piano Strategico e	19
2. CAPITOLO 2: STATO DELL'ARTE	23
2.1 Materiali Compositi	23
2.1.1 Principali Caratteristiche	24
2.1.2 Classificazione	26
2.1.3 Le Matrici.....	34
2.2 Fibra di Carbonio	38
2.2.1 Metodi di produzione fibra di carbonio	39
2.2.2 Matrici polimeriche termoindurenti	44
2.2.3 Produzione materiali compositi con matrice termoindurente	48
2.2.4 Applicazione materiali rinforzati in fibra di carbonio nel settore automotive	61
2.3 Prove AQF automotive IATF Norma IATF 16949.....	66
2.3.1 Norma IATF 16949.....	66
2.3.2 Prove Verniciatura Automotive	69
2.3.3 Prove Incollaggio Automotive	75

3. CAPITOLO 3: PRESENTAZIONE PROGETTO: CATALOGAZIONE PRE-PREG	
SECONDO PROVE AQF	78
3.1 Identificazione della problematica	78
3.2 Individuazione dell'insieme dei test AQF per carrozzerie	84
3.3 Selezione stratificazioni finora qualificate da Hp Composites.....	88
3.4 Codifica delle stratificazioni	95
3.5 Costruzione Template	100
3.6 Risultati Progetto.....	111
CONCLUSIONE	113
SITOGRAFIA	114

INTRODUZIONE

La presente tesi ha lo scopo di illustrare lo svolgimento e il risultato ottenuto del lavoro portato avanti durante il tirocinio curricolare presso l'azienda Hp Composites di Ascoli Piceno. Tale progetto è stato condotto con il Team dell'ufficio tecnico, con i Project Manager e con un Team del reparto R&D con i quali è stato compiuto un allineamento al fine di convergere verso un unico scopo.

L'obiettivo del progetto è stato quello di gestire soluzioni tecniche al fine di agevolare il Project Manager nell'interfacciarsi e nel fornire al cliente il meglio che l'azienda HP Composites possa proporre. La problematica principale e ricorrente che è stata evidenziata dai Project Manager è la loro difficoltà nel definire i materiali e la sequenza di laminazione di un componente di carrozzeria in fase di preventivazione e accettazione preventivo da parte dei clienti.

A valle di questa problematica esposta, il progetto si è incentrato nella costruzione di un template nel quale sono stati riportati i pacchetti, ovvero sequenze di laminazione, listate, testate e già in produzione, di un insieme di componenti selezionati sia per carrozzerie Carbon Look, sia per carrozzerie Body Color e l'insieme dei test AQF automotive IATF di verniciatura e incollaggio da queste superate. L'obiettivo su cui ci si è focalizzati è stato quello di mettere a disposizione dei Project Manager uno strumento che dia una risposta rapida e che può visionare al fine di proporre al cliente materiali e sequenze di laminazione con la certezza che abbiano superato i test AQF automotive IATF.

L'elaborato è organizzato in tre capitoli, che vedranno prima una trattazione degli aspetti teorici alla base del lavoro svolto e poi una spiegazione dettagliata del progetto portato avanti.

Nel capitolo 1 si è effettuata una panoramica del contesto di riferimento, con una presentazione dell'azienda Hp Composites. Si sono descritti, poi, i settori di riferimento in cui l'azienda è leader, le tecnologie presenti all'interno dell'azienda e il piano strategico e la politica della qualità.

Nel capitolo 2 si è svolta un'analisi sui materiali compositi. In particolare, si sono riportate le principali caratteristiche di questi materiali e le diverse classificazioni che si hanno basandosi su criteri differenti come il metodo di produzione, l'orientamento e la forma del materiale di rinforzo e il tipo di matrice utilizzata. Poi si è spostata l'attenzione sulla fibra di carbonio, la quale viene utilizzata come rinforzo per i materiali compositi. Sono stati descritti i processi che portano alla creazione della fibra di carbonio, è stata analizzata anche la struttura dei fogli pre-impregnati e come essi vengono utilizzati. In seguito, sono state descritte le diverse tipologie di matrici termoindurenti che solitamente vengono rinforzate dalla fibra di carbonio e alcune delle tecnologie di produzione dei componenti che presentano queste resine. Infine, è stata analizzata l'evoluzione dell'utilizzo della fibra di carbonio nel settore automotive e i vantaggi che essa ha portato nell'industria automobilistica.

Nel capitolo 3 si è spiegato il progetto di tirocinio, presentando gli obiettivi prefissati per il lavoro da svolgere e spiegazione dei vari step che si sono seguiti

durante lo svolgimento del progetto, riportati in ordine cronologico, in modo da illustrare le varie decisioni prese. E infine vengono riportati i risultati del progetto.

CAPITOLO 1

AZIENDA HP COMPOSITES

1.1 HP COMPOSITES

Hp Composites è un'azienda leader a livello mondiale nella produzione di componenti in fibra di carbonio per il settore motorsport e automotive, e rappresenta un precursore per i cambiamenti attraverso la realizzazione di componenti strutturali sempre più leggere ed efficienti anche per la produzione in serie. L'obiettivo per Hp Composites è quello di conseguire un miglioramento continuo attraverso la semplificazione e l'integrazione di tutte le attività e le aree aziendali che sono protagoniste della realizzazione dei prodotti finiti. I suoi punti di forza consistono principalmente in uno staff esperto composto di persone provenienti da un territorio storicamente coinvolto in tale settore, che ha permesso l'evoluzione di questa tipologia di produzione dall'uso di materiali in alluminio all'uso di materiali in fibra di carbonio.

La principale caratteristica di Hp Composites è quella di riuscire a gestire interamente all'interno dell'azienda il ciclo di vita del prodotto, agendo in questo modo riesce a garantire un'elevata affidabilità dei processi, e, punto focale per il successo, riesce ad avere un'elevata prontezza di risposta verso i clienti.

Hp Composites è dunque partner ideale per la produzione avanzata di materiali compositi ed è in grado, inoltre, di gestire l'intero processo e la movimentazione

con differenti tecnologie adatte per tutti i tipi di applicazione. Tutti i dipendenti dell'azienda vantano competenze comprovate nel campo dei materiali compositi e sono stati coinvolti nelle più importanti tappe fondamentali delle supercars in fibra di carbonio, sia per produzione in serie che da corsa.

L'azienda consta di cinque stabilimenti produttivi, i quali coprono un'area di complessiva di 22.000 mq. L'azienda dal 2010, anno della sua nascita, ad oggi ha incrementato il numero di risorse umane passando dalle iniziali 40 a 600 dipendenti che si registrano durante i periodi di picco produttivo. Lo straordinario Know-how tecnologico di tecnici e operatori consente all'azienda Hp Composites di supportare i principali clienti nella progettazione, prototipazione, sviluppo di nuovi prodotti, tecnologie, processi e progettazione di attrezzature.

L'azienda ha al suo interno il reparto di R&D caratterizzato da grande esperienza e conoscenza, il quale è l'arma vincente che consente di offrire tecnologie e processi innovativi indispensabili in questo settore al fine di soddisfare la crescente domande ed essere sempre competitivi sul mercato. L'attività di R&D è considerata dunque come un driver strategico al fine di affermarsi con decisione e successo ai massimi livelli di mercato ed è stato tale da assorbire circa il 9 % del fatturato negli ultimi anni. La ricerca continua e l'innovazione costante sono sempre stati gli elementi chiave della strategia di HP. La forte collaborazione con istituti di ricerca e la partecipazione a progetti di innovazione a lungo termine, finanziati dal governo italiano e dall'Unione Europea, consentono ad HP di essere sempre all'avanguardia nel settore dei materiali compositi. L'attività di Ricerca & Sviluppo rappresenta per

HP Composites uno strumento fondamentale e un importante vantaggio competitivo che testimonia come l'azienda voglia essere all'avanguardia nello sviluppo di nuove tecnologie e prodotti, confermando il proprio impegno per la crescita strategica. Grazie a queste continue attività di ricerca e agli obiettivi condivisi, il reparto R&D consente all'azienda di avere soluzioni mirate, efficienti e funzionali per qualsiasi cliente.

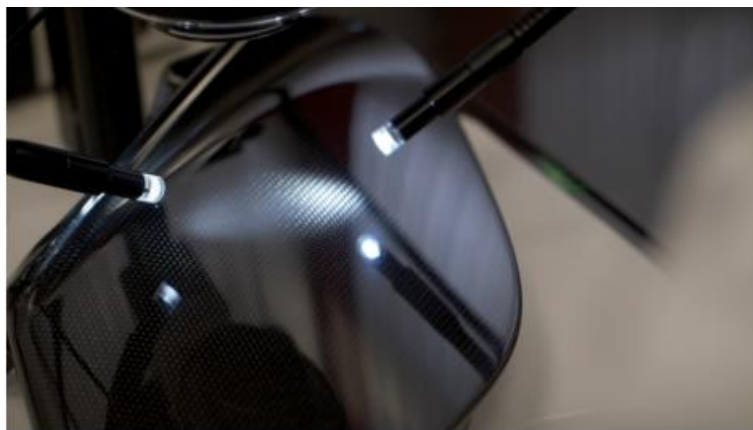


Figura 1.1: Ricerca e sviluppo

Hp Composites è in grado di realizzare prodotti di elevata qualità, in linea con le richieste che provengono dai clienti partendo dall'idea e dai requisiti che quest'ultimo fornisce all'azienda. Infatti, questo è realizzabile, come già detto precedentemente, grazie alle elevate capacità dei team di lavoro che con la loro esperienza sono in grado di individuare quali attività sono necessarie al fine di realizzare ogni particolare prodotto con le specifiche caratteristiche che vengono richieste dai clienti.

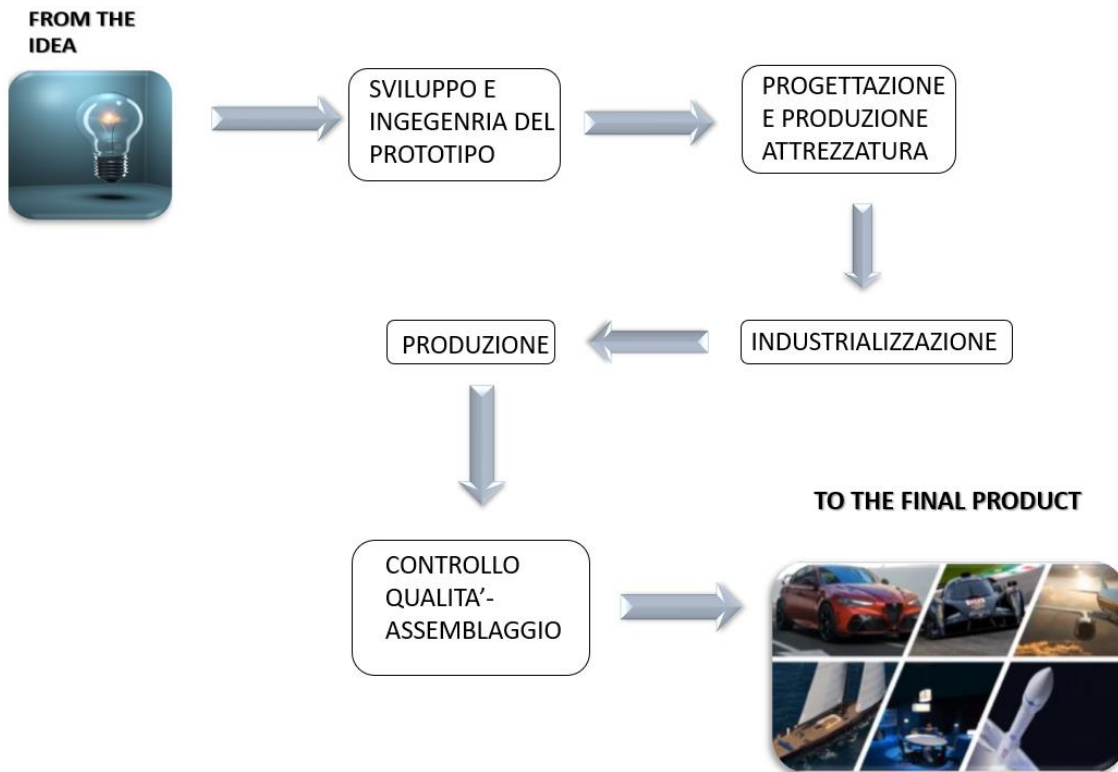


Figura 1.2: Flusso dall'idea al prodotto finito

1.2 HP COMPOSITES: I MERCATI

L'utilizzo dei compositi, sin dalla loro introduzione, ha avuto uno sviluppo ed è cresciuto in maniera significativa negli ultimi anni. I materiali compositi hanno ampiamente dimostrato la loro funzionalità in campi sempre più diversificati, ed è per questo che i motivi della loro espansione sono da attribuire alle eccellenti proprietà meccaniche rapportate al loro peso specifico, alla durabilità ed alla versatilità.

L'uso dei compositi avanzati è stato a lungo limitato alle applicazioni ad elevato valore aggiunto, a causa dell'elevato costo delle materie prime e delle tecnologie di produzione; tuttavia, il recente sviluppo tecnologico, unito alla messa a punto di

nuovi materiali, ha permesso ai materiali compositi di competere con i metalli, in applicazioni a più basso valore aggiunto incrementandone l'utilizzo.

HP Composites è leader a livello mondiale nella progettazione e produzione di componenti in materiale rinforzato in fibra di carbonio per i settori: automotive, motorsport, navale, aeronautico, industriale e design.

AUTOMOTIVE

È il settore leader per HP Composites. Questo settore richiede dedizione, ripetibilità e tracciabilità del processo in modo tale da soddisfare qualsiasi esigenza del cliente. La capacità produttiva di HP continua a crescere assieme allo sviluppo di processi produttivi innovativi che permettono la riduzione di tempi e costi senza però compromettere la qualità del prodotto finale.



Figura 1.3: Automotive Hp Composites

MOTORSPORT

I prodotti richiesti da questo settore sono estremamente performanti e hanno un'alta reattività. Gli ingegneri di HP e il reparto R&D offrono sempre nuove

soluzioni che possano aumentare le proprietà meccaniche dei prodotti. Uno staff preparato permette di fornire una rapida risposta ad ogni esigenza del cliente.



Figura 1.4: Motorsport Hp Composites

AERONAUTICO

L'industria aeronautica è la prima che ha visto l'utilizzo dei materiali compositi. Questo settore, infatti, richiede il massimo della qualità del prodotto e del controllo dei processi. Al momento HP Composites è coinvolta nella produzione degli interni, nella fornitura di stampi e attrezzature per compagnie aeree.



Figura 1.5: Aeronautico Hp Composites

INDUSTRIAL

Il settore industriale offre molte opportunità. La possibilità di alleggerire il carico di un componente meccanico consente di risparmiare energia, di aumentare l'operatività e migliorare quindi il ciclo di vita del prodotto a vantaggio della riduzione del tempo e dei costi.



Figura 1.6: Industrial Hp Composites

NAVALE

Questa divisione ha registrato un costante aumento nell'utilizzo dei materiali compositi data la loro leggerezza, l'estetica e la funzionalità. HP Composites ha fornito diverse parti strutturali per alcuni Yachts di alto livello.



Figura 1.7: Navale Hp Composites

DESIGN

Grazie alla fama acquisita dai vari settori HP Composites ha iniziato a produrre mobili di alto livello. Il settore del lusso e del design in generale richiede di bilanciare la natura strutturale dei componenti mantenendo un perfetto risultato estetico prestando però attenzione al dettaglio.

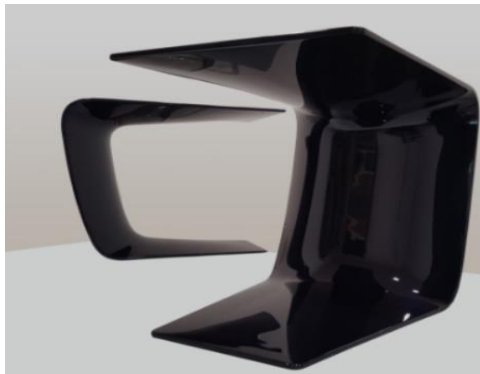


Figura 1.8: Design Hp Composites

1.3 HP COMPOSITES: LE TECNOLOGIE

HP Composites è dotata delle migliori attrezzature per la progettazione e la costruzione di parti strutturali in fibra di carbonio. La completa integrazione tra produzione e attrezzature consente la realizzazione di prodotti sempre più efficienti e complessi. Le attrezzature che permettono di realizzare il modello e successivamente lo stampo, che sono elementi fondamentali, dato che una realizzazione ottimale di questi permette e facilita una realizzazione altrettanto ottimale del prodotto finito. Le tecnologie a disposizione di Hp Composites sono: autoclave, press moulding, compression moulding, forming prepreg, air press moulding, rtm, vartm, space frame technology e C-rtm.

AUTOCLAVE

Utilizzata per la produzione di parti complesse come le monoscocche o pezzi desinati al settore aerospaziale. Pressione e temperatura interna sono controllate così da realizzare i pezzi in maniere differenti in base alla dimensione e al materiale utilizzato. Attraverso questa tecnologia vengono prodotte parti in materiale composito dove le resine sono epossidiche e il rinforzo invece è in fibra di carbonio o kevlar e/o altre fibre. Risulta essere adatta anche per la produzione di parti strutturali come carrozzeria e componenti in carbon look.



Figura 1.9: Autoclave Hp Composites

PRESS MOULDING

Permette di avere un'elevata qualità e uniformità estetica con tempi di ciclo brevi. La ripetibilità permette di produrre in serie parti strutturali e in carbon look. Questa tecnologia permette di produrre pezzi di piccole dimensioni e di media complessità.



Figura 1.10: Press moulding Hp Composites

COMPRESSION MOULDING

Il ciclo di cura è svolto sotto pressa all'interno di stampi riscaldati. Normalmente si utilizza fibra corta e si adatta alla costruzione di parti piccole, non cave o inserti.



Figura 1.11: Compression moulding Hp Composites

FORMING PREPREG

Tecnologia sviluppata nel settore aeronautico per industrializzare la fase di laminazione manuale. Consiste nella «formatura a caldo» di pacchetti di preimpregnati da stampare poi in pressa o in autoclave. La formatura avviene grazie all'applicazione di calore e vuoto su un pacchetto di preimpregnato posto su stampo di formatura.



Figura 1.11: Forming prepreg Hp Composites

AIR PRESS MOULDING

Tecnologia sviluppata da HP Composites. L'idea è stata sviluppata cercando di creare un processo produttivo che si posizionasse tra la produzione in autoclave e quella in pressa, traendo i vantaggi da entrambe. Questa tecnologia è l'ideale per grandi pezzi. Il suo utilizzo permette di avere un'elevata produttività mantenendo l'equilibrio tra costi e prestazioni.



Figura 1.12: Air Press Moulding Hp Composites

RTM

Tecnologia tradizionale. Consiste nell'iniezione di resina in pressione attraverso preforme di fibra secca contenute all'interno di stampi rigidi chiusi. Limitato rapporto fibra/resina. Si adatta a geometrie semplici, ad alto spessore e preferibilmente dalle dimensioni non eccessive. Normalmente gli stampi (metallici) sono riscaldati e contrastano le forze di iniezione (pressa).

VARTM

Simile alla tecnologia RTM con la differenza che le pressioni di iniezione sono molto basse e assistite dal vuoto. Non sono necessari né controstampi metallici né la pressa. Performance molto limitate. HP ha sviluppato una variante del VARTM e

dell'infusione che consente di iniettare resine più reattive e di ridurre drasticamente i contenuti di vuoti.



Figura 1.13: VARTM Hp Composites

SPACE FRAME TECHNOLOGY

Tecnologia che consente di ottenere un prodotto finito ad elevate performance formato da diverse parti (anche costruite con diverse tecnologie). Le parti sono assemblate fra di loro garantendone la continuità strutturale grazie a riporti locali di preimpregnato, il tutto processato in autoclave (a caldo e sotto pressione) a garanzia delle prestazioni finali.

C- RTM

Tecnologia sviluppata da HP Composites che combina i vantaggi della produzione in Autoclave (nessun vuoto, tempi di ciclo brevi, semplicità nell'introdurre una modifica dello spessore) e quella dell'RTM (basso costo dei materiali, alto tasso di produzione).

1.4 HP COMPOSITES: PIANO STRATEGICO E POLITICA DELLA QUALITA'

La HP Composites persegue una strategia di diversificazione basata sulle proprie competenze distintive. Per il segmento della produzione del settore stradale, seppure sempre riferito a super car, l'obiettivo che ha prefissato è quello di consolidare la capacità di supporto ai clienti e l'industrializzazione produttiva di particolari strutturali ad elevate prestazioni (es telai). I processi strategici pertanto sono quelli necessari al presidio di fattori critici di successo individuati ed in particolare su quelli che impattano sulla ricerca e sviluppo legata ai materiali ed alle soluzioni per lo sviluppo dei processi di trasformazione e industrializzazione. Hp Composites al fine di inseguire l'obiettivo prestabilito si è impegnata nel mettere a disposizione le risorse per assicurare una adeguata struttura organizzativa che si basa sui principi della norma ISO 9001 e IATF. Il costante controllo permette di garantire il raggiungimento degli obiettivi organizzativi individuati: assicurare e migliorare la soddisfazione dei propri clienti, assicurare che l'analisi del contesto, delle parti interessate e dei rischi sia costantemente aggiornata, mantenere una competitività di prezzo che permetta al contempo la sostenibilità aziendale, migliorare costantemente la qualità dei prodotti e l'efficienza dei processi e il miglioramento continuo dei processi e dei prodotti. Per agevolare l'ottenimento degli obiettivi Hp Composites ha individuato e classificato i propri processi aziendali, indicandone interazione e funzionamento nell'ambito del Sistema di gestione per la Qualità. In particolare, l'azienda si è predisposta nel definire un opportuno quadro di obiettivi con appositi indicatori, utile per il monitoraggio dei

processi individuati, il quale rappresenta la base di valutazione del riesame periodico della presente politica e del sistema qualità definito. Infatti, l'azienda Hp Composites si è impegnata a consolidare il suo sistema di Gestione Qualità in conformità alle norme UNI EN ISO 9001:2015 e Specifica Tecnica IATF. L'Hp Composites si adopera nei confronti dei clienti: con le loro prestazioni anticipano le attese del cliente e gli forniscono il supporto necessario per individuare le sue esigenze. Si impegnano inoltre a rispettare e a soddisfare a pieno le richieste del cliente, affrontano ogni problema e incomprensione in maniera rapida ed efficace e collaborano con il cliente nella ricerca delle soluzioni alle problematiche esposte, mettono a disposizione l'esperienza perché il cliente possa migliorare i suoi prodotti. Assolvono alle richieste dei clienti che includono il requisito di certificazione IATF 16949:2016 negli obblighi contrattuali, e si impegnano ad assicurare la fornitura regolare di un prodotto che soddisfi i requisiti del cliente e quelli cogenti applicabili.

Le certificazioni che l'azienda Hp Composites ha ottenuto sono la ISO 9001 e la IATF.

La ISO 9001 è una norma internazionale che certifica che l'azienda ha implementato un sistema di gestione della Qualità. Certificarsi ISO 9001 significa tendere alla massima soddisfazione dei clienti, ottimizzare i propri processi produttivi, organizzare la propria azienda per rispondere al meglio alle aspettative e ai requisiti dei propri clienti, facendo prendere coscienza all'intera struttura

organizzativa che lavorare in un'ottica di miglioramento continuo non può che arrecare vantaggi per i clienti e quindi per tutta l'azienda.

La IATF 16949:2016 (TECHNICAL SPECIFICATIONS PER IL SETTORE AUTOMOTIVE), "Requisiti particolari per l'applicazione della norma ISO 9001:2015 per la produzione di serie e delle parti di ricambio nell'industria automobilistica". A tal riguardo l'azienda promuove l'utilizzo di metodologie operative (FMEA, SPC, PPAP, MSA, APQP) volte allo sviluppo e al controllo dei prodotti e processi produttivi, basandosi sul principio del miglioramento continuo.

CAPITOLO 2:

STATO DELL'ARTE

2.1 MATERIALI COMPOSITI

I materiali compositi vengono utilizzati in maniera massiccia nell'industria manifatturiera, nello specifico il loro utilizzo è richiesto in settori specifici quali tra i principali si evidenziano quello automobilistico e aeronautico. I materiali compositi presentano elevate proprietà meccaniche, stabilità chimica accompagnate da elevati rapporti di rigidità/peso, queste caratteristiche che li caratterizzano fanno sì che il loro impiego sia richiesto nei settori sopracitati. Queste caratteristiche sono il risultato della combinazione di uno o più materiali fra loro insolubili. Infatti, si può definire il materiale composito la combinazione di più fasi o componenti chimicamente diversi e con proprietà fisico-meccaniche differenti in modo da poter osservare macroscopicamente l'interfaccia tra di essi. In questo modo è possibile ottenere per il composito delle proprietà superiori rispetto quelle dei singoli costituenti. Affinché si possano ottenere dai materiali compositi le proprietà desiderate è necessario scegliere adeguatamente le percentuali relative ai singoli costituenti. Queste percentuali solitamente variano dal 10 al 90 per cento. Se si considerano compositi con due componenti (bicomponenti) solitamente si ha una componente più resistente sottoforma di fase discontinua, come ad esempio particelle o fibre, che prende il nome di rinforzo e una componente continua meno resistente che viene chiamata matrice.

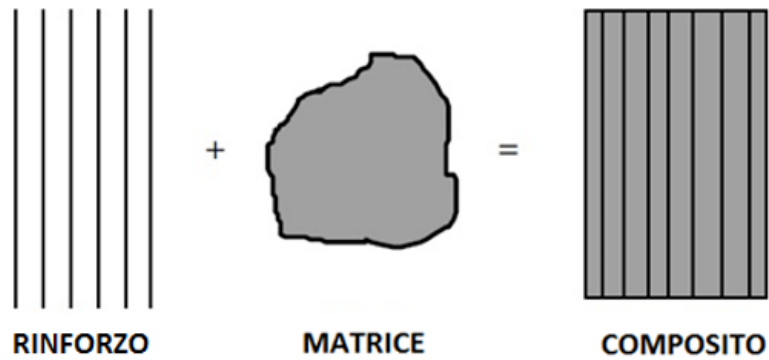


Figura 2.1: Materiale bicomponente

La matrice tiene insieme il rinforzo e permette di distribuire i carichi esterni alla fase di rinforzo, inoltre essa è necessaria anche per proteggere il rinforzo dagli effetti dell'ambiente. Il rinforzo, invece, è una frazione dispersa della matrice e determina, grazie alle proprietà fisico-meccaniche superiori rispetto a quelle della matrice, rigidezza, resistenza, conducibilità elettrica e termica e altre proprietà del composito.

2.1.1 PRINCIPALI CARATTERISTICHE

Affinché si possano definire le proprietà fisico-meccaniche del composito è necessario scegliere adeguatamente le percentuali dei singoli costituenti presenti, ma questo non è sufficiente, infatti, è di fondamentale importanza considerare anche altri fattori che legano le proprietà del composito ai suoi componenti:

- concentrazione;
- proprietà fisico-meccaniche;
- dimensione;

- distribuzione;
- orientamento;
- forma.

Per quanto concerne con la concentrazione, essa fa riferimento al volume o al peso dei singoli componenti. Viene considerato uno dei parametri fondamentali.

La concentrazione è anche utilizzata per definire il rapporto tra le proprietà dei componenti e quelle del composito. Infatti, spesso la proprietà di un composito è definita come la media pesata secondo le concentrazioni delle proprietà dei singoli materiali che lo compongono. La media pesata non può essere applicata se esistono fenomeni di interazione o di sinergismo tra i componenti.

La dimensione della fase discontinua e quindi del rinforzo è un fattore che, insieme alla forma e alla percentuale di concentrazione del componente, determina l'entità dell'area di interfaccia tra i costituenti. Quest'ultima riveste un ruolo di fondamentale importanza nella definizione della interazione tra i componenti e conseguentemente del comportamento del composito.

Un altro parametro che è necessario considerare è la distribuzione della concentrazione dei componenti. Infatti, quando essa non è uniforme, si assiste ad una diminuzione delle proprietà fisico-meccaniche del composito a causa delle zone in cui il componente è presente con una concentrazione inferiore.

La direzione del rinforzo determina l'anisotropia del composito, ossia la dipendenza delle caratteristiche fisico-meccaniche dalla direzione del componente discontinuo.

Per quanto riguarda la forma del rinforzo, essa può essere cilindrica, sferica

prismatica. Essa viene scelta in base alle caratteristiche fisico-meccaniche del composito che si vogliono ottenere.

2.1.2 CLASSIFICAZIONE

I materiali compositi possono essere divisi seguendo diversi criteri. In base alla loro produzione e da quanto tempo essi esistono possiamo avere materiali compositi tradizionali e materiali compositi sintetici. I primi sono quelli che possiamo trovare in natura o che vengono prodotti dall'uomo da molto tempo. Esempi di materiali tradizionali sono il legno e il calcestruzzo. Questi vengono utilizzati prevalentemente nel settore delle costruzioni. I materiali compositi sintetici, invece, sono utilizzati prevalentemente nell'industria manifatturiera. I componenti del composito vengono prima prodotti separatamente poi avviene la coesione di essi in modo da ottenere le proprietà geometriche, meccaniche e strutturali desiderate.

Un'altra classificazione si basa sul meccanismo di resistenza che è strettamente legato alla forma e all'orientamento del rinforzo. In questo caso abbiamo:

- Materiali compositi particellari
- Materiali compositi fibrosi
- Materiali compositi con riempitivo

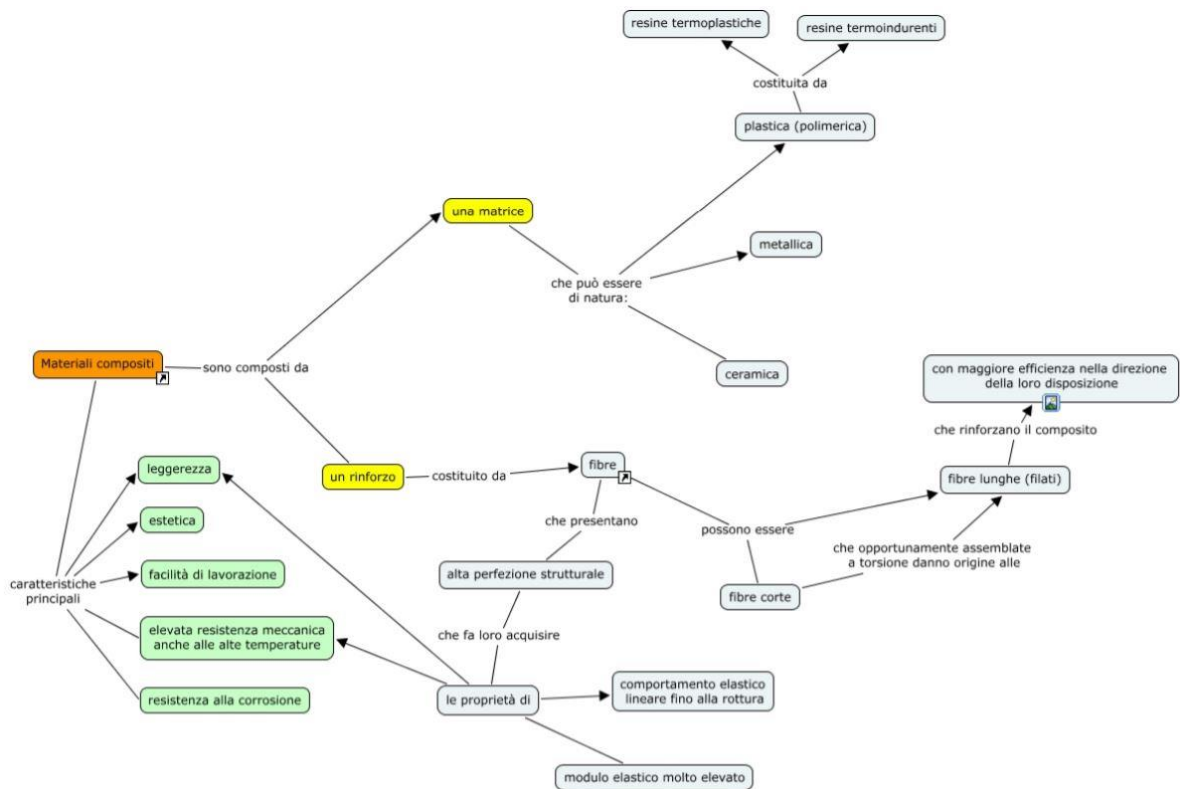


Figura 2.2: Schema descrittivo dei materiali compositi

MATERIALI COMPOSITI PARTICELLARI

I materiali compositi particellari hanno delle particelle come rinforzo. Queste vengono utilizzate in quanto migliorano la resistenza all'usura e alle elevate temperature, la durezza superficiale e la lavorabilità del materiale composito. In base ai valori di tali caratteristiche che si vogliono ottenere, vengono determinate le dimensioni e le conformazioni delle particelle. Nonostante ciò, non si hanno gli stessi risultati di miglioramento delle proprietà che si potrebbero avere utilizzando i compositi fibrosi. Ad esempio, utilizzando una matrice fragile, la presenza di particelle dure potrebbe portare a fenomeni locali di concentrazione delle tensioni. In questo modo, la resistenza meccanica del materiale è compromessa. Inoltre, le particelle non sono in grado di ostacolare la propagazione di cricche e di difetti.

Dall'altro lato, utilizzare i materiali compositi particellari ha il vantaggio di avere il rinforzo distribuito all'interno della matrice in modo incontrollato. In questo modo si ottengono dei materiali isotropi per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, ossia che le proprietà sono indipendenti dalla direzione delle particelle. Infatti, in questo caso, se una particella definisce una direzione lungo la quale le proprietà meccaniche sono massime, ce ne sarà un'altra con direzione preferenziale ortogonale alla precedente.

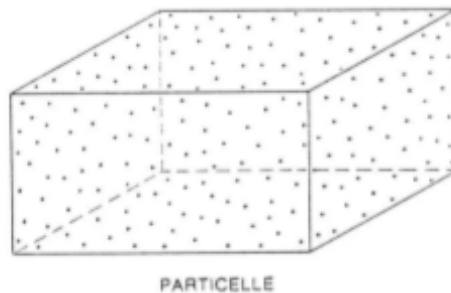


Figura 2.3: Materiali Compositi Particellari

MATERIALI FIBROSI

I materiali fibrosi presentano come rinforzo delle fibre, ossia uno o più filamenti uniti insieme in modo ordinato. Essendo più filamenti riuniti, essi presentano delle sezioni molto piccole, dell'ordine del micron o frazioni di esso. Grazie a questa caratteristica, si riduce notevolmente la possibilità di avere delle imperfezioni e quindi si possono ottenere delle caratteristiche meccaniche, come la resistenza, 100 o 1000 volte superiori rispetto ad altri materiali.

Le fibre possono essere divise in:

- lunghe allineate che conferiscono resistenza elevata ma solo nella direzione delle fibre, nelle altre direzioni la resistenza è molto bassa. Queste sono più adatte per componenti assialsimmetrici o con una geometria semplice
- corte diametro compreso tra 1 e 10 μm e lunghezza pari a frazioni di millimetro e possono essere sia disposte casualmente che orientate. Queste consentono di modellare componenti con forme irregolari.

Dal momento in cui le fibre lunghe non presentano isotropia, si possono incollare diversi fogli di materiale composito l'uno sull'altro, sfalsando di volta in volta l'orientazione delle fibre in modo da creare indipendenza tra l'orientamento delle fibre e le proprietà fisico-meccaniche.

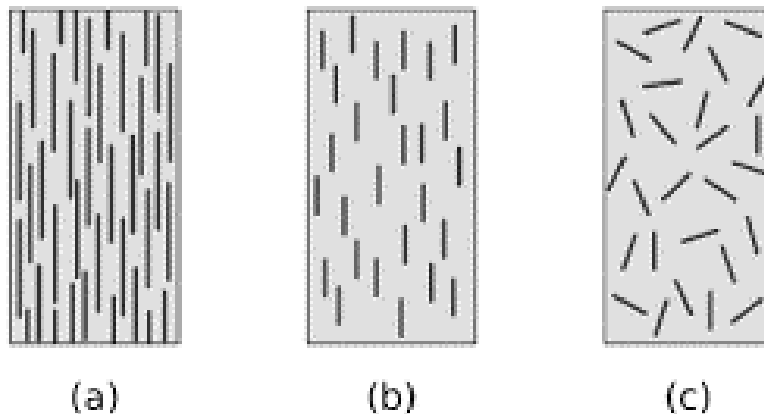


Figura 2.4: Fibre lunghe (a) – Fibre corte orientate (b) – Fibre corte disposte casualmente (c)

Se consideriamo la natura stessa delle fibre abbiamo la seguente classificazione:

- fibre amorfe (diametro 5-25 μm) le quali sono fragili ma presentano un'ottima resistenza meccanica, buona tenacità, basso modulo elastico e media densità. Il loro costo è basso.

- fibre policristalline (diametro 5-8 μm) come carbonio e grafite che hanno un'ottima resistenza meccanica, bassa tenacità, elevato modulo elastico, bassa densità e costo elevato.
- fibre organiche o aramidiche (diametro 12.5 μm) che presentano anch'esse un'ottima resistenza meccanica alta tenacità, modulo elastico medio, bassa densità e costo medio
- fibre multifasi (diametro 100 μm) come ad esempio il polietilene, l'alluminio o il boro. Questi materiali presentano ottime caratteristiche meccaniche, una buona resistenza a compressione ma hanno anche dei costi molto elevati.

Materiale	Modulo Elastico (GPa)	Resistenza Trax (Mpa)	Def. Rottura (%)	Densità (g/cm^3)
Vetro E	70-80	2000-3500	3.5 - 4.5	2.5 – 2.6
Vetro S	85-90	3500-4800	4.5 – 5.5	2.46 – 2.49
Carbonio HS	390-760	2400-3400	0.5 – 0.8	1.85 – 1.9
Carbonio HM	240-280	4100-5100	1.6 – 1.73	1.75
Fibre Aramidiche	62-180	3600-3800	1.9 – 5.5	1.44 – 1.47

Tabella 2.1: Proprietà meccaniche di alcuni materiali per fibre

In commercio è possibile trovare i rinforzi fibrosi nelle seguenti forme:

- single wire, ossia un singolo filamento con diametro di circa 10 μm ;
- cavo di filatura, un fascio di tanti filamenti senza torsione;
- filo filato o Yarn, ossia un filo formato da fibre tenute assieme da torsione;

- filo assemblato, fascio costituito da più fili filati i quali sono assemblati parallelamente senza torsione intenzionale;
- tessuto il quale viene creato dall'intreccio ortogonale di più filamenti. In questo modo si viene a formare l'ordito, ossia la fibra che si sviluppa nella lunghezza del rotolo e la trama, la fibra che si sviluppa nella larghezza.

Le fibre descritte finora vengono generalmente utilizzate in seguito al trasformamento in tessuti. A seconda della diversa conformazione della geometria dei tessuti si possono avere:

1. tessuti unidirezionali in cui tutte le fibre sono orientate nella stessa direzione. In questo modo si riescono ad ottenere elevati valori di resistenza lungo la direzione delle fibre ma, allo stesso tempo, valori molto bassi in direzione trasversale;
2. tessuti bidirezionali in cui le fibre sono orientate in due direzioni preferenziali a formare tessitura trama-ordito. Quando il numero di fibre in ordito è uguale al numero di fibre in trama allora si ha un tessuto bilanciato. Altrimenti avremo un tessuto sbilanciato;
3. tessuti multi-assiali dove le fibre sono orientate in diverse direzioni del piano.

Inoltre, i tessuti si possono anche differenziare per lo stile:

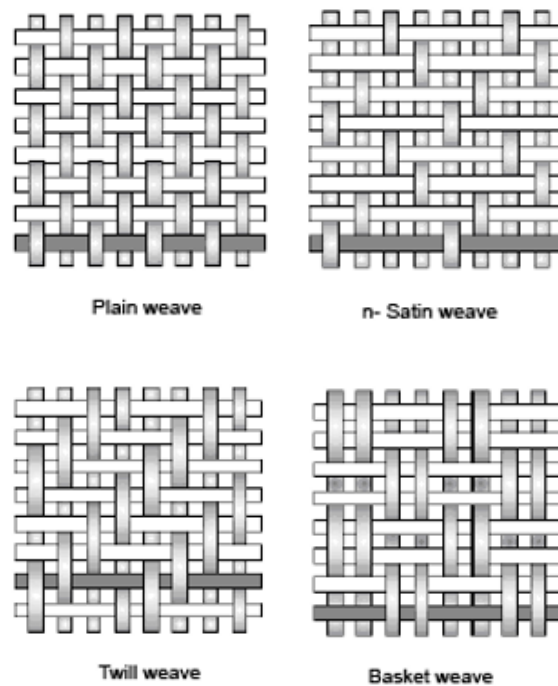


Figura 2.5: stili di tessitura

Quando i fili in ordito passano sotto ogni filo in trama si ha un tessuto plain weave. Con questa trama si riesce ad ottenere un'elevata stabilità limitando, però, la drappabilità, ossia la capacità di deformarsi per seguire superfici curve. Se, invece, uno o più fili di trama si intrecciano con due o più fili di ordito in modo regolare, allora si ha un tessuto con trama twill weave. Questo tipo di trama presenta una drappabilità migliore del plain weave e una stabilità simile. Si possono anche avere degli intrecci più distanziati, con un numero di fibre tra le intersezioni pari a 4, 5 o 8. Siamo nel caso di satin weave. Questo tessuto viene utilizzato si desiderano un'ottima drappabilità e bagnabilità, rinunciando alla stabilità, inferiore rispetto al plain weave e twill weave. Si possono trovare anche altri tipi di trama come, ad

esempio, il basket weave con due o più fili di trama e ordito che si intrecciano alternativamente.

I MATERIALI COMPOSITI A RIEMPITIVO

I materiali compositi a riempitivo sono formati da materiali leggeri, chiamati core materials, posti tra due laminati (o pelli) che presentano elevata resistenza e rigidità. I compositi a riempitivo vengono anche definiti strutture sandwich. Il materiale riempitivo può essere di diverso tipo. È importante che questi abbiano una bassa densità ed una elevata resistenza al taglio e a compressione e delle buone proprietà termiche. In generale possiamo identificare delle categorie a cui appartengono tali materiali:

- Legno balsa;
- Schiume come, ad esempio, il polivinilcloruro (PVC) o il Rohacell;
- Corrugati;
- Honeycomb che sono a nido d'ape e realizzati con diversi materiali, i quali presentano proprietà diverse.

Il core materials viene utilizzato per stabilizzare le lamine esterne e per conferire una maggiore resistenza a compressione del composito, mantenendo fissa la distanza tra le pelli. In questo modo si ha una maggiore efficienza strutturale, la quale viene sfruttata nella costruzione di attrezzi sportivi, di mezzi di trasporto veloci e nelle costruzioni spaziali e aeronautiche.

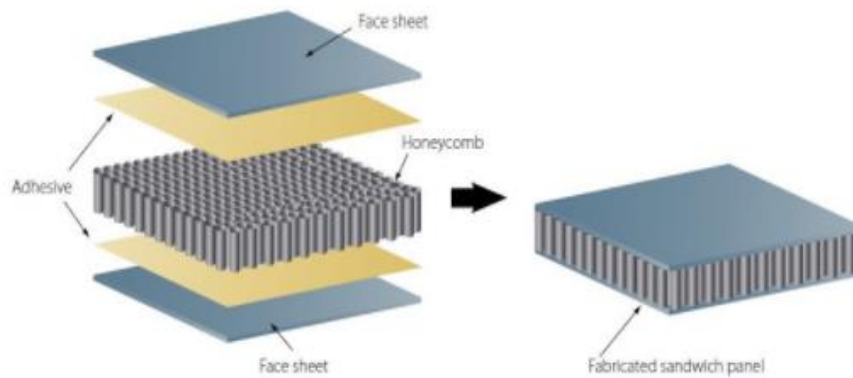


Figura 2.6: Materiale composito a riempitivo con honeycomb

2.1.3 LE MATRICI

In un materiale composito le matrici rivestono un ruolo importante. Infatti, è grazie ad esse se le fibre rimangono distanziate tra di loro e se gli viene trasmesso il carico. Inoltre, hanno il compito di proteggere le fibre da agenti chimici e atmosferici e dai danneggiamenti meccanici. Le matrici aumentano la tenacità del composito in quanto presentano un allungamento a rottura più elevato delle fibre. In questo modo, quando si 0,7 cm termoindurenti. Le caratteristiche che hanno portato ad uno sviluppo meno evidente rispetto a quelle termoindurenti sono l'elevata viscosità che porta conseguenze negative sulla bagnabilità della resina e la minore resistenza meccanica rispetto alle termoindurenti. Si stanno conducendo delle ricerche per rendere questi resine più adatte all'ambito strutturale, in quanto, essendo riciclabili, hanno un minore impatto ambientale.

PROPRIETA'	TERMOINDURENTI	TERMOPLASTICHE
Modulo di Young (GPa)	1.3-6.0	1.0-4.8
Resistenza a trazione (MPa)	20-190	40-190
Tenacità a frattura (MPa m ^{1/2})	0.5-1.0	1.5-6.0
Massima temperatura di utilizzo (°C)	40-450	25-230

Tabella 2.2: Confronto proprietà matrici termoindurenti e termoplastiche

MATRICI METALLICHE

Queste matrici grazie alle loro elevate proprietà meccaniche vengono utilizzate soprattutto nel settore aerospaziale. Infatti, esse presentano rigidità e resistenza trasversale, resistenza a taglio, a compressione e alle alte temperature maggiori rispetto le matrici polimeriche. Altri vantaggi significativi sono la resistenza al fuoco, la conducibilità elettrica e termica e l'igroscopia pressoché nulla. Inoltre, rispetto ai metalli non rinforzati, hanno una maggiore rigidità specifica e resistenza ad usura, proprietà migliori ad elevate temperature e minore dilatazione termica. Esse presentano però una tenacità più bassa rispetto ai metalli non rinforzati. Queste matrici trovano un basso utilizzo a causa della difficoltà nella loro fabbricazione. Le matrici metalliche più comunemente utilizzate riguardano leghe a bassa densità a base di alluminio e titanio. Sono state sviluppate anche matrici a base di rame per avere una maggiore conducibilità termica e matrici di intermetallico a base di nichel o titanio che sono utilizzabili a temperature particolarmente elevate.

MATRICI CERAMICHE

Lo sviluppo di materiali con matrice ceramica è stato conseguito prevalentemente per migliorare la tenacità del materiale ceramico di base. Questo fenomeno si ha aggiungendo nella matrice particelle o fibre di un'altra sostanza. Durante il processo di frattura, il rinforzo deve attivare meccanismi di dissipazione di energia in modo da modificare le curve sforzo/deformazione. Infatti, quando un ceramico è sotto l'effetto di sollecitazioni, questo tende a deformarsi in modo lineare e, dopo aver raggiunto il valore massimo del carico sostenibile, si frattura in modo fragile.

Con rinforzi fibrosi viene incrementato il carico massimo sostenibile dal materiale ceramico, ma anche il modo di fratturarsi. Infatti, non si avrà una rottura improvvisa in corrispondenza del carico massimo sostenibile, ma continuerà a deformarsi in corrispondenza di carichi via via meno elevati.

Se invece sono presenti rinforzi particellari, si assiste ad una deformazione a frattura per carichi più alti, ma l'andamento della curva continua ad essere di tipo lineare.

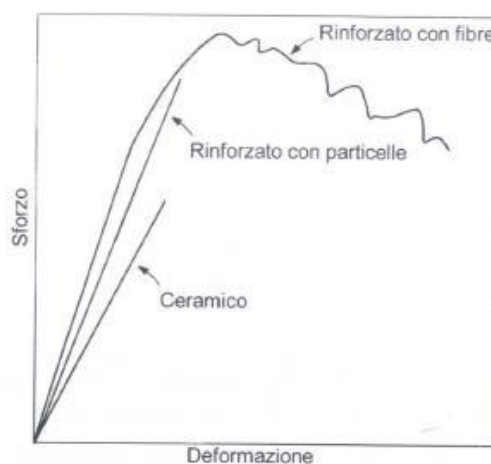


Figura 2.8: Curve sforzo/deformazione di un ceramico e dei suoi compositi

Questi materiali vengono prodotti mediante processi tecnologici particolari che prevedono l'uso di elevate temperature, come ad esempio il Chemical Vapour Infiltration, la sinterizzazione e la compattazione di dispersioni liquide. I materiali compositi con matrice ceramica presentano un'elevata durezza e temperatura di fusione e presentano caratteristiche isolanti. Per questo motivo sono utilizzati quando sono richieste prestazioni elevate o per impieghi elettrici.

2.2. FIBRA DI CARBONIO

Le fibre di carbonio sono un polimero di atomi di carbonio con una struttura planare a simmetria esagonale. I legami tra gli atomi di un piano sono di tipo covalente e quindi molto intensi; invece, i legami tra i vari piani sono più deboli. Questo porta all'anisotropia della fibra, la quale avrà modulo elastico elevato lungo i piani e, al contrario, molto basso nelle direzioni trasversali.

Rispetto a materiali più tradizionali queste presentano elevate prestazioni meccaniche e un'elevata leggerezza. Inoltre, presentano diametri compresi tra i 5 e i 15 μm , un'elevata conducibilità termica ed elettrica e inerzia chimica tranne per l'ossidazione (questo comporta l'utilizzo di barriere isolanti tra il carbonio e le parti in metallo).

Il loro costo è molto elevato, per questo che vengono molto utilizzate per la realizzazione di componenti destinate all'industria del luxury. Un altro fattore da considerare nel loro utilizzo è che presentano meccanismi di frattura di tipo fragile. Queste caratteristiche rendono il loro impiego particolarmente adatto al settore automotive, aeronautico, sportivo agonistico, edile e biomedicale.

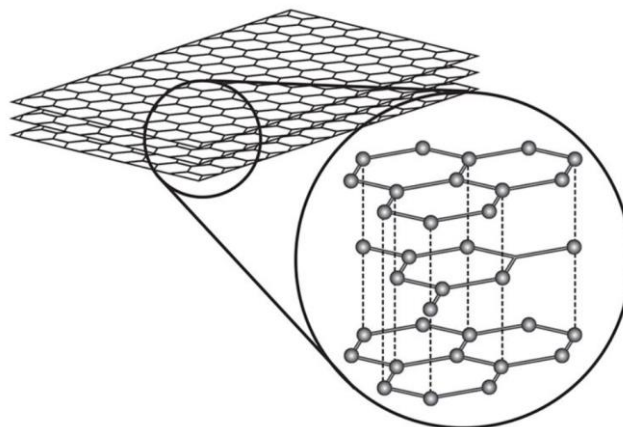


Figura 2.9: Struttura fibra di carbonio

2.2.1 METODI DI PRODUZIONE FIBRA DI CARBONIO

Le fibre di carbonio sono ottenute da composti chimici di sintesi derivanti dal carbonio e dal petrolio e ridotti in filamenti più o meno lunghi. Possono essere prodotte per modificazione di vari precursori organici, quali, ad esempio, fibre di poliacrilonitrile (PAN) e da residui della distillazione del petrolio o del catrame (PITCH).

PRODUZIONE FIBRA DI CARBONIO DA PAN

La poliacrilonitrile è un polimero atattico lineare dalla quale, attraverso le fasi di riscaldamento, ossidazione e carbonizzazione, si ottiene la fibra di carbonio.

La prima fase viene eseguita a temperature che possono raggiungere i 300-400 °C con lo scopo di formare una struttura ciclica ad anello chiamata tetraidropiridina.

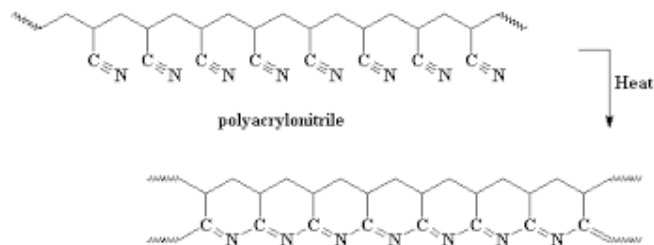


Figura 2.10: Da poliacrilonitrile a tetraidropiridina

Nella fase di ossidazione vengono rotti i legami tra carbonio ed idrogeno e viene liberato idrogeno in forma gassosa. La struttura che si viene a formare prende il nome di piridina. In questa fase si raggiungono temperature pari a 700 °C.

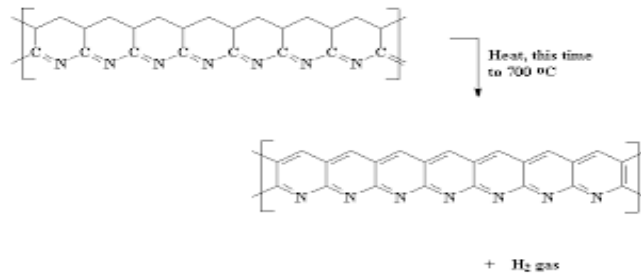


Figura 2.11: Da tetraidropiridina a piridina

L'ultima fase, ossia quella di carbonizzazione, avviene in assenza di aria. Essa è suddivisa in due sottofasi. Nella prima la temperatura viene fatta salire a valori compresi tra 400 e 600 °C in modo da formare un polimero a nastro, con tre catene di anelli aromatici che presentano alle estremità laterali atomi di azoto.

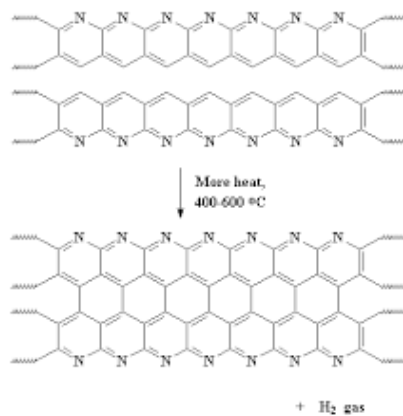


Figura 2.12: Polimero a nastro, conseguenza prima fase di carbonizzazione

Dopodiché, si aumenta la temperatura fino ai 1300 °C in atmosfera inerte per ottenere fibra di carbonio. Lo scopo di questa seconda fase di carbonizzazione è di formare polimeri a struttura grafitica pura, continua e regolare lungo tutto la fibra.

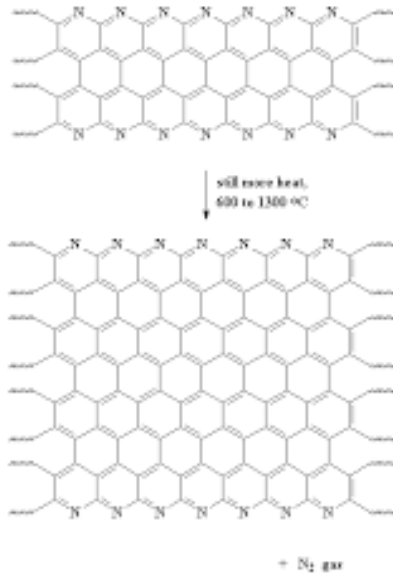


Figura 2.13: Struttura finale fibra di carbonio

Con questo processo, si cerca di eliminare tutti gli elementi chimici diversi dal carbonio. Infatti, si ottengono strutture con elevati percentuali di carbonio (90-95%). Se oltre le tre fasi precedentemente descritte, si effettuano trattamento di grafitizzazione, le impurità vengono ridotte ulteriormente e si ottengono elevate caratteristiche di rigidità e resistenza.

PRODUZIONE FIBBRE DI CARBONIO DA PITCH

La pece o PITCH rappresenta il residuo della distillazione del catrame o del petrolio, formato da migliaia di idrocarburi aromatici. Questa viene riscaldata a temperature che variano dai 400 ai 450 °C per circa 40 ore, con lo scopo di formare un liquido viscoso pseudo cristallino. La sostanza così formata è caratterizzata da un certo grado di ordine delle molecole, intermedio tra quello dei cristalli e quello di un liquido. La pece viene filata in modo da orientare le molecole lungo l'asse della fibra. Viene poi eseguito un trattamento di termofissaggio a temperatura non

troppo elevate (300 °C) ed infine, come nel processo da PAN, si eseguirà la carbonizzazione (1000-2000 °C) ed eventualmente la grafitizzazione.

Con questo processo, rispetto al primo descritto, non è necessaria alcuna tensione dei filamenti durante la fase di carbonizzazione e di grafitizzazione e richiede tempi molto inferiori.

La scelta su quale dei due metodi utilizzare dipende dalle caratteristiche richieste dal composito. Infatti, i due metodi descritti per ottenere fibre di carbonio portano ad avere delle caratteristiche meccaniche differenti. Il processo da PAN, ad esempio, favorisce elevate tenacità, allungamento a rottura e densità. Il processo da PITCH, invece, è caratterizzato da un maggiore modulo elastico.

Caratteristica	Fibre da PAN	Fibre da PITCH
Tenacità (GPa)	1.8 – 7.0	1.4 – 3.0
Modulo Elastico (GPa)	230 - 540	140 - 820
Allungamento a rottura (%)	0.4 – 2.4	0.2 – 1.3
Densità (g/cm ³)	1.75 – 1.95	2.0 – 2.2

Tabella 2.3: Confronto caratteristiche tra fibre di carbonio ottenute da PAN e da PITCH

Le fibre, come già detto precedentemente, presentano diametri molto piccoli, compresi tra i 5 e i 15µm. Per questo motivo, vengono raggruppati in fasci formati da 1000-160000 filamenti. I fasci possono essere arrotolati su bobine o su spolette oppure con esse vengono realizzate delle stuoie.

Le fibre di carbonio che formano i fasci, possono essere o pre-impregnate nella matrice prima del loro utilizzo o può succedere che vengano impregnate nel momento in cui il componente viene creato.

In molte aziende produttrici di componenti destinati all'industria automobilistica, vengono utilizzati i pre-preg. Questi rappresentano dei materiali compositi fibrorinforzati pre-impregnati. Ciò significa che nel composito è già presente la matrice, la quale fissa le fibre disposte in modo da formare un tessuto.

Ciò che li caratterizza è che la matrice è solo parzialmente reticolata. In questo modo essa può essere facilmente modellata e adattata, ad esempio, a degli stampi nel processo di laminazione, il quale avviene a freddo. Inoltre, è anche possibile impregnare un numero elevato di fibre.

I pre-preg devono essere conservati a basse temperature, in modo da non far completare il processo di reticolazione. Questa operazione avverrà successivamente grazie all'utilizzo di forni o dell'autoclave.

Utilizzare i pre-preg comporta costi elevati ma, allo stesso tempo, permette di ottenere componenti meccanici di alto pregio e di buona qualità di produzione, limitando i difetti di fabbricazione. Inoltre, usare i pre-impregnati permette di utilizzare l'esatto quantitativo di resina in modo da avere dei materiali leggeri e, allo stesso tempo, permette agli operatori aziendali di lavorare in un ambiente pulito senza dover venir a contatto con la resina liquida.

I pre-preg sono caratterizzati dalle seguenti proprietà:

- Dimensione;

- Tipo di resina;
- Tack level cioè la capacità del pre-impregnato di aderire a delle superfici e allo stesso tempo di essere tolto con facilità se si commettono degli errori nel sistemare il materiale sullo stampo. Questo dipende dall'invecchiamento della resina e dal rapporto resina/fibre;
- Formabilità, ossia quanto è in grado di adattarli a forme complesse;
- Viscosità della resina;
- Contenuto di resina.



Figura 2.14: Pre-Preg

2.2.2 MATRICI POLIMERICHE TERMOINDURENTI

Le fibre di carbonio sono utilizzate per rinforzare soprattutto matrici di tipo polimeriche termoindurenti.

Le resine termoindurenti presentano una bassa viscosità che facilita il processo di impregnazione delle fibre. Presentano delle buone proprietà meccaniche, le quali sono riportate nella seguente tabella.

Caratteristica	Epossidiche	Poliestere
Modulo Elasticità (GPa)	2.75 – 4.5	2.1 – 3.5
Resistenza a trazione (Mpa)	55 - 130	35 - 105
Def. a Rottura (%)	4 - 8	1 – 5
Densità (g/cm ³)	1.2 – 1.3	1.1 – 1.4

Tabella 2.4: Proprietà meccaniche resine Epossidiche e Poliesteri

Esse possono essere liquide o solide. Le resine termoindurenti induriscono attraverso un processo chimico chiamato reticolazione. Esso avviene grazie all'utilizzo di indurenti e catalizzatori, i quali permettono la creazione dei legami covalenti tra le catene. Il processo di reticolazione può avvenire a temperatura ambiente o a temperatura e pressione scelte opportunamente per ottenere le caratteristiche desiderate. Lo svantaggio di queste resine è la fragilità e quindi la bassa resistenza alla propagazione delle cricche. Per migliorare questo aspetto, è possibile aggiungere nella resina della gomma liquida o delle resine termoplastiche. Le principali resine termoindurenti che vengono rinforzate con fibra di carbonio sono:

- resine poliesteri insature;
- resine epossidiche.

RESINE POLIESTERE INSATURE

Queste resine, anche se presentano un ritiro non trascurabile in fase di reticolazione, hanno un costo molto basso e, per questo, vengono largamente utilizzate in ambito automobilistico. Inoltre, sono pratiche da utilizzare. Infatti,

sciogliendole con monomeri reattivi, è possibile impregnare facilmente le fibre di carbonio. La loro reticolazione può prolungarsi per ore o, addirittura, giorni.

Le resine poliesteri sono sostanze liquide con una bassa viscosità. Essi derivano dalla reazione tra diacidi organici (i quali presentano gruppi -COOH e un doppio legame tra atomi di carbonio) e glicoli polifunzionali, formati da due gruppi ossidrilici. Dalla reazione si ottiene un polimero insaturo con il gruppo caratteristico degli esteri e un doppio legame tra due atomi di carbonio.

La reattività di quest'ultimo, permette di ottenere ulteriori legami di covalente tra le diverse catene polimeriche lineare attraverso reazioni di polimerizzazione o poliaddizione.

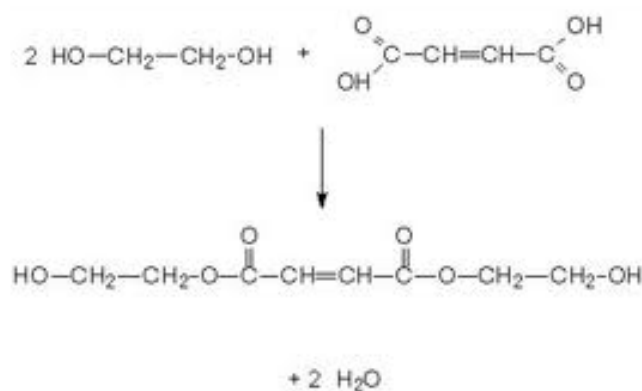


Figura 2.14: Struttura di una resina poliesteri insatura

RESINE EPOSSIDICHE

Le resine epossidiche vengono utilizzate per la realizzazione di manufatti in fibra di carbonio, in particolare nei processi di formatura per filamenti winding, formatura a sottovuoto e in autoclave e stampaggio per compressione. Infatti, esse sono in grado di mitigare la fragilità del carbonio grazie alla loro elevata elasticità e a legare

le fibre con una quantità piccola di resina, in modo da avere un composito con un peso basso.

Queste resine presentano al centro della catena polimerica due o più gruppi epossidici, i quali sono formati da un atomo di ossigeno legato con due atomi di carbonio. È grazie a questi gruppi che le resine sono rigide e resistenti al calore.

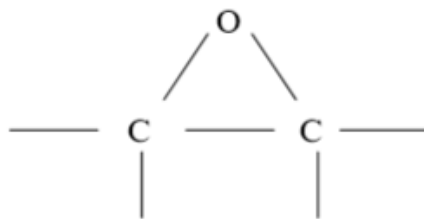


Figura 2.15: Gruppo epossidico

La reticolazione e l'indurimento della resina avvengono a seguito di aggiunta di un agente reticolante, come ad esempio le ammine, costituito da molecole dotate di tre o più gruppi reattivi (funzionali) in grado di reagire con i gruppi epossidici a formare una maglia continua tridimensionale. I gruppi funzionali permettono un'elevata capacità di aderenza e coesione.

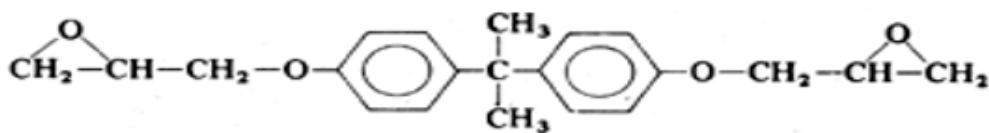


Figura 2.16: Struttura di una resina epossidica

La reazione di reticolazione viene generalmente attivata a seguito di riscaldamento o, a bassa temperatura, in presenza di opportuni catalizzatori.

Trovano un largo utilizzo in quanto, oltre a presentare le caratteristiche già menzionate, possono essere lavorate a temperature e pressioni non troppo elevate, non hanno un costo elevato e hanno un basso ritiro. Quest'ultima proprietà rende meno probabile la decoesione delle fibre e la formazione di cricche.

2.2.3 PRODUZIONE MATERIALI COMPOSITI CON MATRICE TERMOINDURENTE

Come già detto, un materiale composito è formato dall'unione di diversi materiali. Per far avvenire la combinazione tra essi è necessario che le fibre vengano impregnate nella matrice. Questo avviene facendo fluire la matrice tra le fibre in modo da colmare gli spazi vuoti presenti tra esse. Questa fase avviene nell'interfaccia che occupa una superficie molto grande all'interno del materiale. L'interfaccia è necessaria per proteggere le fibre dal contatto tra di esse, per ripartire i carichi esterni in modo uniforme tra le fibre e per garantire coesione tra le fibre in direzione trasversale. Per far creare questa interfaccia, la resina deve avere contatto con tutte le fibre presenti nel composito in modo da conferire continuità al materiale. Dopodiché è necessario consolidare la parte fluida attraverso il processo di reticolazione. Prima di procedere alla reticolazione è fondamentale controllare che le fibre siano disposte secondo gli orientamenti corretti.

Queste fasi possono essere realizzate applicando diverse tecnologie:

- Laminazione manuale;

- Tecnologia a spruzzo;
- Produzione in autoclave;
- RTM (Resin Transfer Moulding);
- Vacuum Infusion (RIFT);
- Pultrusione;
- FW (Filament Winding);
- Compression Moulding.

LAMINAZIONE MANUALE

Questo processo è indicato per pochi prodotti di grandi dimensioni. Le lamine sono costituite da fibre continue disposte manualmente sullo stampo, possono essere disposte nella medesima direzione (unidirezionali) e in direzioni differenti (tessuti). Inoltre, le lamine possono essere impregnate direttamente nello stampo, ovvero si tratta di processi di laminazione a umido (wet lay-up) oppure le lamine possono essere impregnate prima di essere disposte sullo stampo, ovvero si tratta di processi di laminazione a secco (dry lay-up). La laminazione manuale viene eseguita tipicamente a stampo aperto ma può essere realizzata anche con stampo chiuso. In caso di laminazione manuale a stampo aperto, lo stampo è costituito da una sola parte, solo una faccia del laminato viene in contatto con la superficie dello stampo, ciò implica una buona finitura superficiale del manufatto su una sola faccia. Le fasi del ciclo di fabbricazione di un laminato mediante tecnologie manuali sono:

- costruzione stampo;

- applicazione distaccante;
- deposizione rinforzo;
- impregnazione rinforzo con resina;
- stampaggio;
- estrazione parte.

Per questa lavorazione lo stampo viene preventivamente pulito, trattato con distaccante ed eventualmente rivestito con uno strato di finitura. Successivamente avviene una deposizione manuale del rinforzo tagliato a misura (tessuto o nastro unidirezionale). Si prosegue con una impregnazione del rinforzo bagnandolo con la miscela resina-indurente. Si sta considerando un processo di laminazione a umido (wet lay-up). Si esegue una compattazione del rinforzo impregnato ed eliminazione dell'aria e della resina in eccesso mediante rullatura, poi polimerizzazione a temperatura ambiente con tempi di indurimento legati alla quantità di indurente utilizzato. Si esegue successivamente un'estrazione della parte dallo stampo mediante aria compressa o attrezzature di sollevamento.

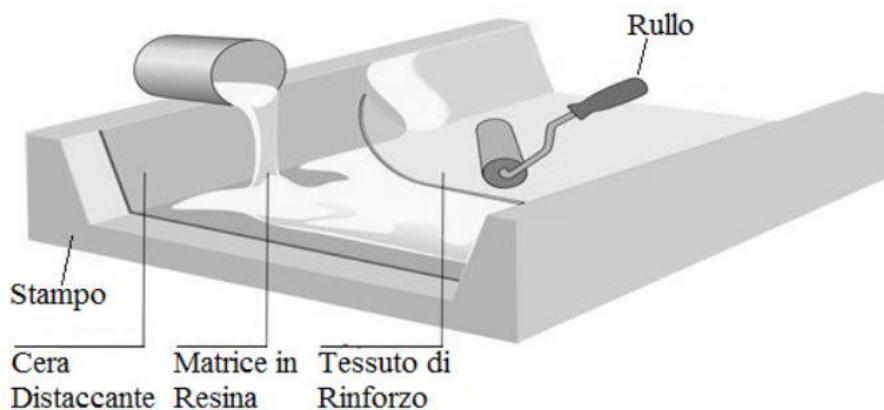


Figura 2.17: Tecnologia di laminazione a umido manuale a stampo aperto

La qualità del laminato migliora impregnando il rinforzo prima della deposizione, ovvero si tratta del processo di laminazione a secco (dry lay-up), questo avviene mediante il passaggio del tessuto o nastro secco in un bagno di resina per l'impregnazione, poi successivamente avviene la deposizione nello stampo. Questo processo evita di rovinare il rinforzo e permette di depositare sulla fibra la giusta quantità di resina.

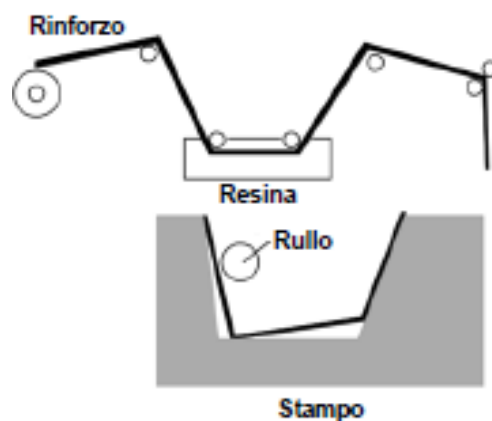


Figura 2.18: Tecnologia di laminazione a secco manuale a stampo aperto

Lo svantaggio nell'utilizzare la laminazione manuale è che non permette l'evaporazione delle bolle d'aria che si creano nella resina durante la laminazione stessa.

TECNOLOGIA A SPRUZZO

Questa tecnologia è molto comune nel settore nautico. Consiste nella deposizione a spruzzo sullo stampo di fibre corte. Viene realizzata attraverso una pistola dotata di un sistema a lama rotante azionato da aria compressa che taglia le fibre, inizialmente sotto forma di bobine, e le proietta contro lo stampo assieme alla

giusta quantità di resina mescolata con l'indurente. Questa operazione è seguita da rullatura manuale dello strato ottenuto. Si ha il risultato di parti con caratteristiche meccaniche di gran lunga inferiori rispetto a quelle prodotte mediante processi di lay-up a causa dell'utilizzo di fibre discontinue. I vantaggi di questa tecnologia rispetto all'hand lay-up sono che è facile da automatizzare, permette di ridurre i costi e maggiore affidabilità di processo. Lo svantaggio che si riscontra rispetto all'hand lay-up è l'impossibilità di realizzare laminati con rinforzo orientato.

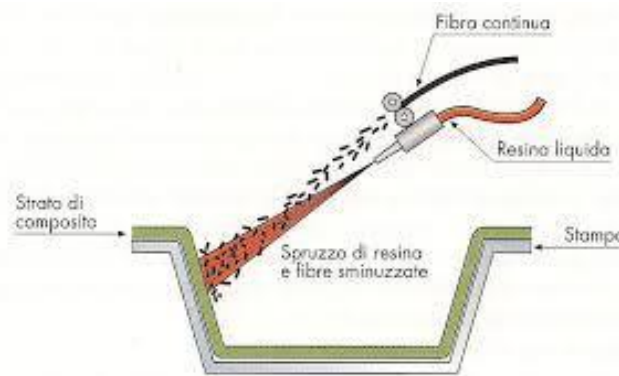


Figura 2.19: Tecnologia di produzione a spruzzo

PRODUZIONE IN AUTOCLAVE

Questa tecnologia permette di ottenere laminati con caratteristiche meccaniche più elevate, che richiedono stampi con geometrie complesse, con dimensioni non eccessive e in piccole quantità. È una delle tecnologie più efficaci nella fabbricazione di parti di forma complessa in settori avanzati. In questo processo vengono utilizzati i fogli di pre-preg, dove le fibre sono già impregnate nella matrice e hanno subito parzialmente la reazione di reticolazione. Il processo prevede la stesura su degli stampi aperti delle lamine precedentemente tagliate. Al di sopra e al di sotto di queste ultime vengono posti altri tessuti che hanno il compito di

proteggere le lamine da fattori esterni e di assorbire le resine in eccesso. L'insieme di lamine tagliate e gli altri tessuti viene posto all'interno di un sacco di nylon. All'interno del sacco viene generato il vuoto. Il tutto viene inserito nell'autoclave nella quale, attraverso l'applicazione di una determinata pressione e temperatura, avviene la compattazione delle diverse lamine, l'evacuazione della resina in eccesso e il processo di polimerizzazione della resina. In questo modo è possibile far evacuare le bolle d'aria, in modo da evitare difetti estetici. I vantaggi della produzione in autoclave sono notevoli:

- bassa porosità del laminato, dovuta alle elevate pressioni applicate dall'autoclave che intensificano l'azione di compattazione sul laminato esercitata dal vuoto entro il sacco;
- aumento del rapporto fibra/resina, che consente la possibilità che la resina in eccesso fuoriesca dal laminato composito;
- elevate prestazioni meccaniche del laminato, ovvero l'uso dell'autoclave conferisce caratteristiche di resistenza superiori almeno del 30% rispetto a quelle di qualsiasi altra tecnologia;
- piccoli scorrimenti tra le lamine, ovvero la possibilità che le lamine scorrano le une sulle altre, a causa della diminuzione della viscosità della resina a temperature elevate, con pressioni non uniformi, questo problema è stato fortemente attenuato grazie alla distribuzione uniforme di pressione applicata sul laminato;

- ottima finitura superficiale, la faccia del laminato a contatto con lo stampo caratterizzata da ottima finitura grazie all'azione della pressione;
- spessore del laminato costante, garantito dall'uniformità della pressione applicata.



Figura 2.20: Produzione in autoclave

RTM (RESIN TRANSFER MOULDING)

Per questo processo vengono utilizzati degli stampi chiusi, i quali sono formati da due parti: lo stampo e il controstampo. Questa tecnologia prevede l'introduzione del rinforzo asciutto secondo la direzione e la sequenza desiderata all'interno di uno stampo, precedentemente pulito e riscaldato. È importante che lo stampo venga riscaldato e che la temperatura sia controllata accuratamente, in quanto questo permette che il processo di reticolazione avvenga correttamente. Il riscaldamento dello stampo può avvenire tramite circolazione di fluido termovettore in canali caldi oppure attraverso resistenze elettriche applicate sulla superficie esterna dello stampo.

Quest'ultimo, che è formato da due parti, viene poi chiuso attraverso una pressa. La fase successiva prevede l'iniezione della matrice di impregnazione. La matrice viene iniettata all'interno della cavità dello stampo attraverso appositi fori d'iniezione. Grazie alla pressione esercitata da un sistema di pompaggio, la resina avanza dai punti di iniezione verso i fori di uscita impregnando le fibre. Per evitare che la resina refluisca verso l'esterno del pezzo si aggiungono delle guarnizioni in silicone sui bordi dello stampo. Il tempo di iniezione di solito varia dai 20 secondi ai due minuti.

Una volta che la resina è stata iniettata, il pezzo deve rimanere all'interno dello stampo per un tempo tale che avvenga la polimerizzazione. Questo dipende dal tipo di miscela e dalla geometria dello stampo.

Passato questo periodo di permanenza del pezzo nello stampo, avviene la sua estrazione. La difficoltà di tale operazione dipende soprattutto dalla forma, dalle dimensioni del pezzo e dagli angoli che la superficie del pezzo forma con la direzione di estrazione. Solitamente vengono utilizzati attrezzi in materiali termoplastico o in legno.

Questa tecnologia viene utilizzata soprattutto per la produzione di componenti in grande serie in quanto offre un elevato grado di automazione.

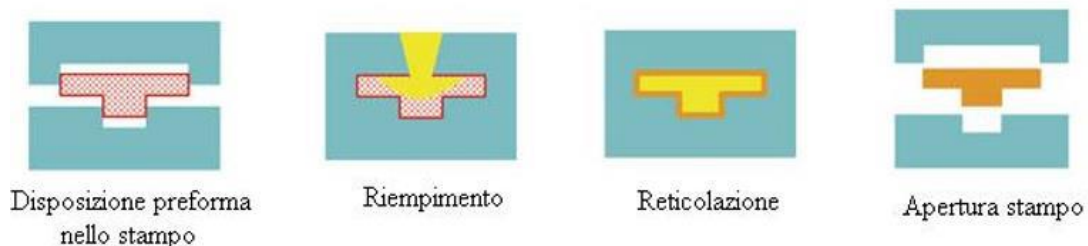


Figura 2.21: Processo RTM

RIFT (RESIN INFUSION UNDER FLEXIBLE TOOL)

Questa tecnologia è stata introdotta per rispondere ai limiti legislativi imposti dal governo sulle emissioni di stirene, le quali vengono causate dalla resina poliestere. Infatti, tali limiti impongono di utilizzare degli stampi chiusi. L'utilizzo di tali stampi è poco conveniente per componenti di grandi dimensioni. Per questo motivo, che, per tali articoli, vengono utilizzati dei sacchi polimerici al posto di una delle due parti dello stampo. I sacchi presentano il vantaggio di essere più flessibili.

Questa tecnologia prevede l'utilizzo dei seguenti strumenti:

- semi stampi rigidi i quali possono essere di materiale composito (solitamente resina poliestere o epossidica con rinforzi in fibra di vetro), elettro formati i quali sono foderati da pellicole che rappresentano le superfici di lavorazione oppure possono essere in metallo, adatti alle produzioni con volumi elevati;
- pompa per il vuoto con valvola di controllo, in modo da controllare che non vi siano flussi d'aria nella cavità dello stampo e che il vuoto non raggiunga delle percentuali per le quali la resina potrebbe evaporare;
- sacchi i quali possono essere in nylon, polipropilene, gomma siliconica ed in polietilene a bassa densità;
- sistema di distribuzione della resina attraverso il quale viene fatta fluire la matrice in modo che avvenga l'impregnazione delle fibre.

Con questi strumenti è possibile produrre materiali compositi seguendo diverse fasi.

Per prima cosa è necessario eliminare dallo stampo residui di lavorazioni precedenti. Dopodiché, si posiziona il rinforzo nella cavità dello stampo. La fase successiva è il posizionamento del peel-ply, un tessuto che serve per omogenizzare la resina sulla superficie e per evitare la formazione di bolle d'aria. Oltre al peel-ply viene posizionato il sistema di distribuzione della resina. Successivamente si assiste alla chiusura dello stampo che consiste nella stesura del sacco sul sistema di distribuzione della resina e nel suo aderimento al sigillante. Poi viene creato il vuoto nella cavità grazie all'utilizzo di una pompa e di una valvola di controllo. Le fasi successive sono costituite dall'iniezione e cura della matrice di impregnazione. La resina viene immessa sotto la spinta della pressione atmosferica e si aspetta che essa polimerizzi. Dopo la polimerizzazione, viene estratto il pezzo e vengono svolti i processi di rifinitura.

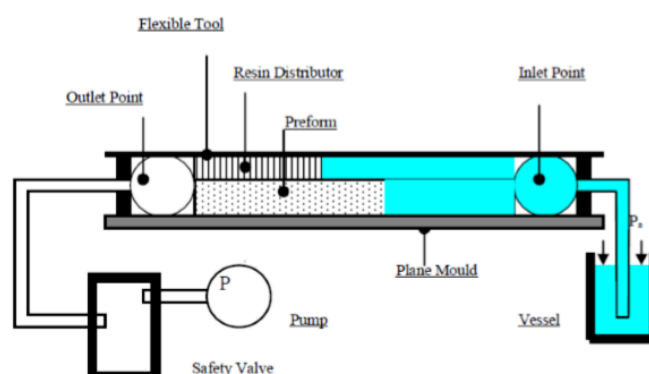


Figura 2.22: Processo RIFT

PULTRUSIONE

La tecnologia di pultrusione viene utilizzata per produzioni in grande serie e in continuo di profilati. Tecnologia che permette di ottenere, in modo continuo, profilati rinforzati con fibre continue, anche con elevate percentuali di rinforzo. Le caratteristiche morfologiche dei prodotti pultrusi sono sezione trasversale costante (semplice o complessa) e asse rettilineo. Il principio di funzionamento è basato sull'applicazione alle fibre di una forza di tiro (pull) impartita da un sistema di trascinamento, le fibre sono costrette a passare in continuo, dopo l'impregnazione in un bagno di resina, attraverso uno stampo riscaldato (fibra o trafila), il quale conferisce la forma finale desiderata all'interno del quale avviene la polimerizzazione. La formatura per pultrusione è una tecnologia sviluppata negli anni '50, ampiamente utilizzata a livello industriale. I primi manufatti realizzati sono di forma semplice (barre o tondini) i quali sono ancora oggi in produzione. Questa tecnologia permette di ottenere prodotti con elevate proprietà meccaniche e altre proprietà, quali resistenza a corrosione e isolamento elettrico oltre ad un peso molto basso.

Il processo per pultrusione è un processo facilmente automatizzabile, le principali caratteristiche che lo caratterizzano sono buona velocità di produzione, inoltre non pone limitazioni relativamente alla lunghezza del profilato da realizzare e consente di ottenere un'ampia varietà di forme, anche molto complesse. Il processo consiste nel tirare i mat, ovvero eventuale strato che permette di migliorare la resistenza all'impatto e alle sollecitazioni trasversali, e i roving, ovvero le fibre di rinforzo,

prima attraverso un bagno di resina e successivamente attraverso le preforme, le quali permettono di far assumere al profilo una forma preliminare ed eliminare la resina in eccesso. Successivamente avviene il passaggio del composito attraverso una filiera riscaldata con sezione trasversale che determina la forma finale del profilato che fa avvenire la polimerizzazione della resina; inoltre c'è la possibilità, utilizzando opportuni mandrini di ottenere profilati cavi.

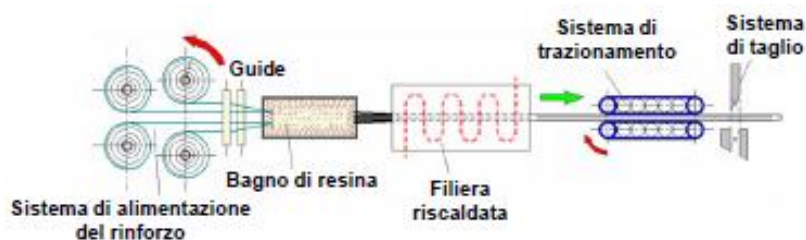


Figura 2.23: Attrezzatura di Pultrusione

FILAMENT WINDING (FW)

Questa tecnologia permette di realizzare parti attraverso l'avvolgimento di fibre impregnate su un supporto rotante (mandrino). I manufatti sono caratterizzati da superficie esterna ammissibile a quella di un solido di rivoluzione, e standard elevati in termini di proprietà meccaniche e loro ripetibilità grazie al ridotto intervento dell'uomo. Inoltre, consente di ottenere recipienti di forma complessa mediante filament winding robotizzati. Questa tecnologia consiste, infatti, nell'avvolgere la fibra già impregnata intorno ad un mandrino in rotazione. Le fibre impregnate possono essere avvolte in modo elicoidale, a spirale e con angoli di inclinazioni sia a destra che sinistra del mandrino e possono seguire percorsi

ripetitivi fino a quando il mandrino non è completamente ricoperto. Vengono aggiunti diversi strati in base allo spessore che si vuole realizzare. I vari strati possono essere posti ad angoli di avvolgimento diversi, i quali possono variare tra 0° e 90° rispetto l'asse del mandrino. In generale l'avvolgimento avviene in modo regolare e programmato. L'avvolgimento può essere a umido se le fibre vengono impregnate subito prima di essere avvolte sul mandrino, oppure si parla di dry winding quando vengono utilizzati dei pre-preg.

La fase successiva è la polimerizzazione che avviene all'interno di forni.

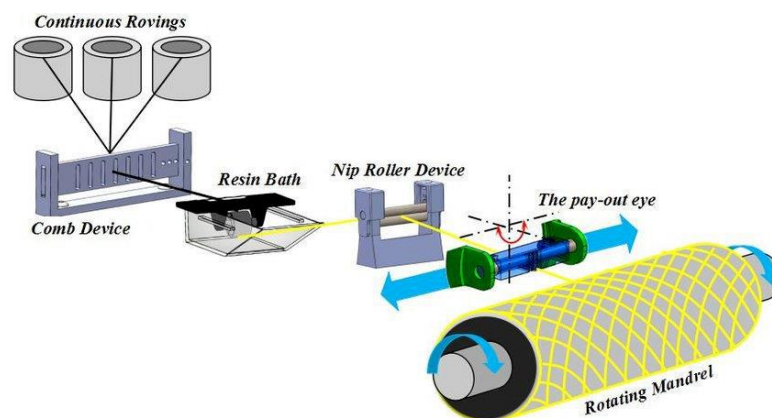


Figura 2.24: Processo di Filament Winding

COMPRESSION MOULDING

Questa tecnologia di produzione prevede l'utilizzo di pre-preg e viene utilizzata per alti ratei produttivi. Le varie lamine vengono inizialmente posizionate sulla parte inferiore di uno stampo, il quale è stato precedentemente riscaldato. Attraverso il calore emanato dallo stampo, il pre-preg tende a rammollirsi. Dopodiché, viene abbassata la parte superiore dello stampo ad una velocità pari a 5-10 mm/s. Lo

stampo viene chiuso per un tempo tale da permettere la polimerizzazione del materiale (solitamente circa 1-3 minuti). Durante questa fase si assiste ad un innalzamento della pressione sulla superficie delle lamine fino a valori prestabiliti. In questo modo la resina può scorrere all'interno dello stampo fino all'ottenimento della forma voluta e si può eliminare l'aria presente nello stampo e all'interno del materiale. Dopodiché, lo stampo viene fatto raffreddare e il componente viene estratto.

Questo tipo di tecnologia non è adatta per componenti strutturali, in quanto non offrono delle prestazioni meccaniche elevate. Trovano largo impiego nella produzione di componenti di carrozzeria perché presentano buoni livelli di energia d'urto assorbibile, una bassa fragilità e quindi discreta tenacità.

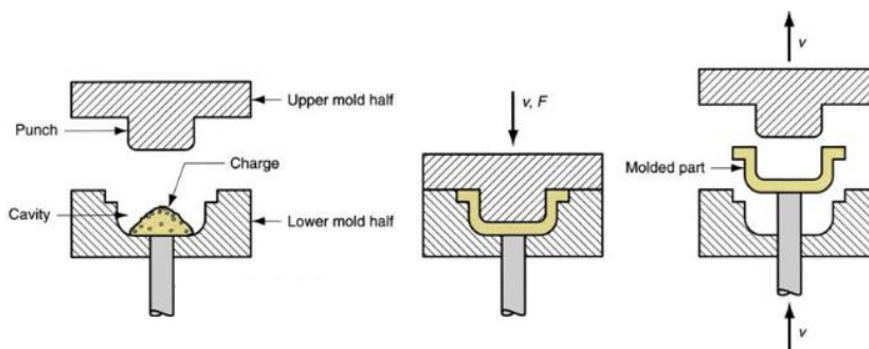


Figura 2.25: Processo Compression Moulding

2.2.4 APPLICAZIONE MATERIALI RINFORZATI IN FIBRA DI CARBONIO NEL SETTORE AUTOMOTIVE

Le fibre di carbonio hanno ampia applicazione nell'ambito automobilistico in quanto sono ideali per la produzione di interni, scocche, telai e altri componenti.

Le fibre di carbonio trovano grande impiego soprattutto nella produzione di macchine da corsa in quanto grazie alle loro proprietà e caratteristiche conferiscono e garantiscono alla struttura rigidità, resistenza e leggerezza. Infatti, con l'utilizzo dei materiali compositi, le autovetture riescono a raggiungere un peso di 50 Kg contro i 540 Kg delle autovetture che vengono prodotte utilizzando i tradizionali materiali.

Queste sono le ragioni per cui a partire dal 1981 fino ad arrivare ai nostri giorni, circa il 60 % dei telai ed altri componenti, tra i quali si possono citare spoiler, appendici aerodinamiche delle monoposto della Formula 1 vengono realizzati in materiale composito formate da fibre di carbonio che rinforzano resine epossidiche.



Figura 2.26: Ferrari SF90 con telaio in materiale composito

Se si considera il settore automotive e i materiali compositi è necessario la casa automobilistica Lamborghini. La fibra di carbonio utilizzata da questa casa automobilistica può essere definita come un prodotto interamente “home made”, in quanto essi gestiscono l'intero processo di produzione di componenti in

materiale composito, dalla loro progettazione 3D, fino al collaudo e controllo qualità. Inoltre, ad essa è collegato anche nell'Advanced Composites Research Center (ACRC) un centro di ricerca dove vengono fatti studi per lo sviluppo di tecnologie associate all'utilizzo di pre-preg e per lo sviluppo di tecnologie fuori dall'autoclave, come ad esempio RTM light, al quale sono stati associati numerosi brevetti. La casa automobilistica Lamborghini già a partire dal 1983 iniziò a produrre un telaio della Lamborghini Countach interamente in fibra di carbonio. Dal 1983 ad oggi la Lamborghini ha prodotto numerose fuoriserie e supersportive in materiali compositi, un esempio è sicuramente la Sesto Elemento, si tratta di una fuoriserie presentata al salone dell'automobile a Parigi nel 2010, la quale ha un peso di 999 Kg e un rapporto peso/potenza pari a 1.75 Kg/CV. In particolare, la vettura ha i seguenti componenti prodotti in fibra di carbonio:

- telaio;
- cellula dell'abitacolo;
- sezione frontale;
- paraurti;
- cerchi;
- rinforzi d'assorbimento d'urto;
- bracci di sospensione;
- l'albero di trasmissione.



Figura 2.27: Lamborghini Sesto Elemento

Per quanto riguarda le supersportive, si porta in questo testo come esempio la Aventador LP 700-4. Essa presenta una scocca prodotta interamente in fibra di carbonio e ha una struttura unica. Queste due caratteristiche garantiscono una maggiore sicurezza della vettura. Inoltre, la monoscocca ha un peso molto basso, pari a 147.5 kg.

Visto i grandi vantaggi in termini di prestazioni che i materiali compositi hanno portato nelle vetture della Formula 1 e non solo, anche la casa automobilistica Ferrari decise di applicare questa tecnologia nel 2002 nella produzione dell'autovettura coupé Ferrari Enzo, la quale presenta la scocca e alcuni parti interne, come i sedili, in fibra di carbonio e Nomex. In questo modo, è stato possibile realizzare un'autovettura leggera con un peso di circa 1255 kg ed un rapporto peso/potenza pari a 2.07 kg/CV.



Figura 2.28: Ferrari Enzo del 2002

Materiali compositi rinforzati in fibra di carbonio, vengono utilizzati anche per vetture di serie, in modo particolare quelle a metano e idrogeno. Infatti, la fibra di carbonio viene utilizzata per la produzione delle bombole contenenti i gas in pressione.

Anche l'Alfa Romeo Stelvio e Giulia presentano dei componenti in composito rinforzato in fibra di carbonio, i quali non solo sono stati utili per contenere il peso delle vetture, ma anche per impreziosire la loro estetica e per garantire qualità e sicurezza. Ad esempio, nella Stelvio, la fibra di carbonio è stata aggiunta su prese d'aria del cofano, prese d'aria del paraurti anteriore, estrattore e paraurti posteriore. Invece nella Giulia abbiamo i sedili, lo splitter anteriore e il tetto, i quali sono laminati in autoclave.



Figura 2.29: Alfa Romeo Stelvio - Interni Alfa Romeo Giulia

Quindi, si può affermare, che dal 1981 ad oggi, componenti in fibra di carbonio hanno trovato un largo uso nel settore automotive e questo ha portato anche piccole aziende ad investire in questo business, dando loro la possibilità di realizzare alti profitti e di essere presenti in un segmento del mercato con alte prospettive di crescita anche per il futuro.

2.3 PROVE AQF AUTOMOTIVE NORMA IATF 16949

2.3.1 NORMA IATF 16949

IATF 16949:2016 è un sistema di qualità in ambito automotive basato sullo standard ISO 9001:2015 con specifici requisiti del settore automobilistico. Lo standard è applicabile a qualsiasi organizzazione che produce componenti, assemblaggi e parti per la fornitura all'industria automobilistica. In questo contesto produttivo è definito come: il processo di creazione o di fabbricazione di materiali di produzione, parti di produzione o di servizio, assemblaggi o trattamento termico, saldatura, verniciatura, placcatura, incollaggio o altri servizi di finitura. La norma IATF 16949 enfatizza lo sviluppo di un sistema di gestione della qualità orientato ai processi che prevede il miglioramento continuo, la prevenzione e la riduzione degli sprechi e delle variazioni nella catena di approvvigionamento. L'obiettivo è soddisfare i requisiti del cliente in modo efficiente ed efficace. I tools utili per il raggiungimento di tali requisiti sono quelli definiti dalla IATF stessa, quali ad esempio:

- FMEA - Failure Mode and Effect Analysis;
- MSA - Measurement Systems Analysis;
- APQP - Advanced Product Quality Planning;
- PPAP - Production Part Approval Process.

È una condizione vincolante anche il soddisfacimento dei requisiti del cliente (tipicamente i Customer Specific Requirements) in modo efficiente ed efficace.

La Norma IATF 16949:2016, dunque descrive i requisiti di qualità in ambito automotive. È basata sullo standard ISO 9001:2015 con l'aggiunta di specifici requisiti del settore automobilistico. Lo standard in sé non contiene i requisiti della norma ISO 9001:2015, quindi le organizzazioni devono garantire che entrambi gli standard vengano utilizzati quando si implementano i requisiti.

Lo standard IATF 16949 è la ex norma ISO TS 16949, cioè quella norma di gestione sistema qualità specifica per il settore Automotive, che comprende la ISO 9001 e alcune prescrizioni specifiche volute dai costruttori di auto, riuniti nello IATF, International Automotive Task Force.

Lo IATF è un gruppo "ad hoc" di produttori automobilistici e le loro rispettive associazioni di categoria, formati per fornire prodotti di qualità migliore ai clienti del settore automobilistico di tutto il mondo. Tutte le organizzazioni certificate vengono aggiunte al sito web IATF delle organizzazioni riconosciute, una copia delle informazioni relative al certificato è contenuta nel sito e può essere verificata in qualsiasi momento.

Nello specifico, gli scopi per cui è stata istituita la IATF sono:

1. Sviluppare un consenso sui requisiti del sistema internazionale di qualità fondamentale, principalmente per i fornitori diretti delle aziende fornitrici di materiali di produzione, parti di prodotti o servizi o servizi di finitura (ad esempio trattamento termico, verniciatura e placcatura). Questi requisiti saranno disponibili anche per altre parti interessate nel settore automobilistico.
2. Sviluppare politiche e procedure per lo schema di registrazione di terze parti IATF comune per garantire la coerenza a livello mondiale.
3. Fornire una formazione adeguata a supportare i requisiti IATF 16949 e lo schema di valutazione IATF.
4. Stabilire legami formali con organismi istituzionali per sostenere gli obiettivi della IATF.

La norma IATF 16949:2016 è entrata in vigore a ottobre 2016 e il 14 settembre 2018 è la data limite per uniformarsi al nuovo standard. La vecchia norma, emessa come UNI ISO/TS 16949, è scaduta nel 2016.

Le principali differenze tra il nuovo standard e quello vecchio riguardano una visione maggiormente cliente-centrica; l'enfaticizzazione del miglioramento continuo; la necessità di assicurare il controllo sull'outsourcing; l'obbligo di redigere un FMEA, Failure Mode and Effect Analysis, per ogni fase critica del processo; la necessità dell'approvazione del cliente finale per tutte quelle modifiche che impattano sulla qualità del prodotto finito; maggiore attenzione sulla formazione delle risorse umane, con l'aggiunta di requisiti circa motivazione e

responsabilizzazione dei dipendenti; predisposizione di un piano per garantire la soddisfazione dei requisiti del cliente (qualità, tempi di consegna...), anche nel caso di interruzione dei servizi dovute a emergenze come per esempio scioperi, guasti; divisione in fasi Progettazione Prodotto e Progettazione Processo; necessità di predisporre un piano di controllo per prodotto e processo. La nuova norma IATF prevede l'implementazione di un sistema di produzione Just in time. Di fronte a questo obbligo, è ragionevole supporre che anche i controlli qualità dovrebbero essere fatti in tempi brevi è infatti difficile sostenere una produzione just in time se poi il laboratorio fornisce i risultati delle prove e dei test di pulizia e contaminazione dopo molto tempo.

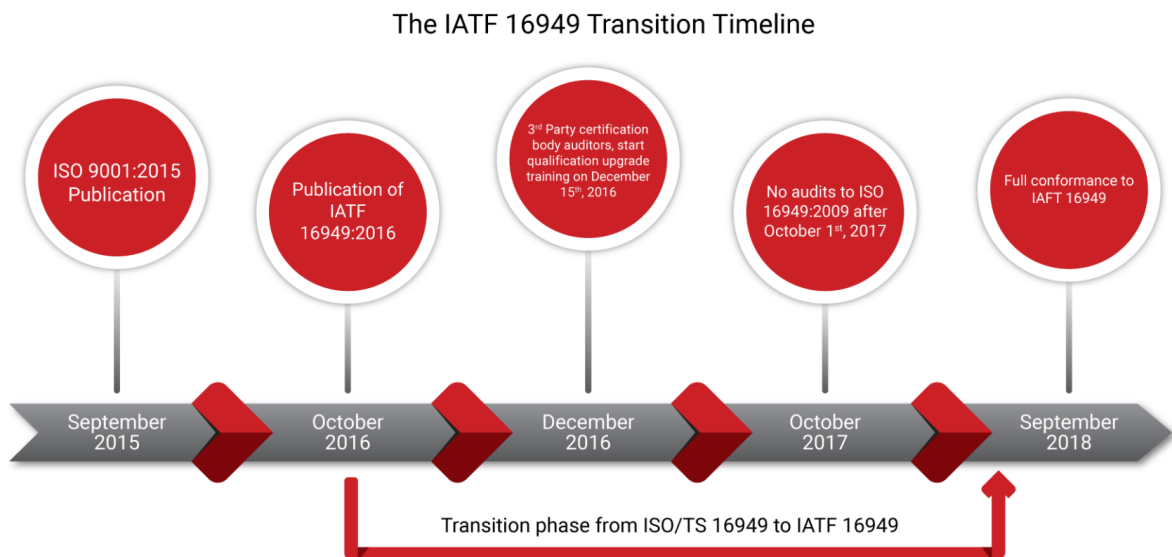


Figura 2.30: Cronologia transazione IATF 16949

2.3.2 PROVE VERNICIATURA AUTOMOTIVE

I materiali e i processi produttivi devono subire delle prove di qualifica che rispettino lo standard IATF 16949:2016 al fine di rispettare i requisiti esposti dal

cliente. Lo standard IATF è dunque riferito ad organizzazioni che producono componenti per il mondo automotive ed è definito anche come processo di verniciatura. Con il passare degli anni la severità dei controlli che i costruttori di automobili richiedono ai loro fornitori è sempre più stringente. Prendendo in esame il Capitolato FCA 9.55842, che prescrive tutta una serie di controlli per particolari verniciati, lo scopo di questo capitolato tecnico è indicare le caratteristiche che devono soddisfare i componenti verniciati e descrivere le modalità e definire le attrezzature da utilizzare per l'esecuzione delle prove di controllo di tali caratteristiche. Tali controlli, sono imposti a chi vernicia componenti per il settore automotive. I rivestimenti di verniciatura possono essere di fondo, monostrato a finire, oppure possono essere costituiti da più strati come per esempio cataforesi + polveri, fondo + smalto. Come si sa questi rivestimenti vengono applicati su particolari vari, al fine di proteggerli dalla corrosione e dall'azione aggressiva degli agenti atmosferici, ed evitare che pezzi di carrozzeria, stressati dagli agenti atmosferici, saltino via. I componenti possono essere rivestiti con uno o più strati di verniciatura, possono essere prerivestiti elettroliticamente, protetti tramite un rivestimento inorganico, possono essere destinati all'interno o all'esterno della vettura e di conseguenza possono essere esposti agli agenti atmosferici e/o alla luce solare oppure no. Possono inoltre essere di forma semplice o complessa. Infine, possono essere verniciati di fondo e finiti di smalto color vettura dopo montaggio su scocca in linea. Per la qualificazione del prodotto la norma tecnica in analisi prescrive di sottoporre il componente in esame o suoi

provini alle prove ed ai controlli specifici previsti, verificando la rispondenza del risultato di prova con i limiti prescritti a progetto o sulla scheda di prodotto, relativamente alla classe specifica. Il capitolato inoltre consiglia di provare almeno n°2 campioni per prova. In questo modo si ha maggior controllo sulla ripetibilità del risultato e sulla uniformità della qualità della verniciatura. Qualora, per la particolare geometria del componente, non sia possibile ricavare direttamente i provini necessari per le prove, il capitolato indica a prevedere la realizzazione di campioni specifici costituiti con lo stesso materiale e ciclo di verniciatura/decorazione definitivi. Il capitolato prende poi in esame le prove che possono essere richieste in funzione della classe del componente, tra le principali si possono descrivere: spessore, adesione, brillantezza, resistenza ai colpi di pietra, determinazione della resistenza alle aggressioni chimiche.

SPESSORE

La misurazione dello spessore del rivestimento è una prova che serve per verificare quanto è spesso un rivestimento. Esistono svariati metodi per effettuare questo controllo. Possono essere sia distruttivi che non distruttivi. Il controllo non distruttivo può usare diverse tipologie di controllo come gli ultrasuoni, l'induzione magnetica o la corrente parassita. Per quanto riguarda i controlli distruttivi, il più diffuso è sicuramente il metodo con il microscopio ottico. Si esegue una sezione trasversale del componente in cui è presente il rivestimento, si ingloba, si lucida la superficie ed infine si va a controllare sotto il microscopio ottico. Grazie ad un

software integrato al microscopio è possibile andare ad effettuare misurazione con una precisione di 1 μm . Si eseguono diverse misurazioni per avere un valore di ripetibilità e si ricava un valore medio dello spessore del rivestimento.

ADESIONE

La prova di adesione è un test che, come dice la parola stessa, serve per verificare l'adesione di un rivestimento. In parole semplici serve per definire quanto resiste "ancorato" al substrato a cui è stato applicato. Esistono diverse tipologie di prove per valutare l'adesione che possono essere meccaniche oppure dall'applicazione di shock termici improvvisi e con un decremento della temperatura molto elevato. Questo ultimo caso si sottopone il campione con il rivestimento ad uno shock termico in cui si passa da una temperatura molto alta, ad un raffreddamento immediato ad esempio in acqua. Al termine della prova si verifica che il rivestimento non si è deteriorato e non si osservano distacchi.

Nel caso dell'adesione meccanica, che si effettua principalmente nel campo delle verniciature, le procedure più comuni prevedono l'incisione del film fino a raggiungere il substrato. È necessario creare un reticolo formato da un determinato numero di linee che si incrociano perpendicolarmente oppure si può praticare un'incisione a forma di croce, dopo aver praticato l'incisione si applica uno strato di nastro a strappo e lo si strappa. Più aderente è il rivestimento e meno ci saranno distacchi.

BRILLANTEZZA

La brillantezza (anche lucidità o lucentezza) di un materiale definisce se la superficie finale sia opaca oppure lucida. L'unità di misura è un indice definito Gloss Units (abbreviato GU), o semplicemente Gloss che va da 0 a 100%. Lo strumento di misurazione è il riflettometro o glossmetro, che misura la riflessione speculare, ossia l'intensità della luce riflessa, entro un'area di dimensioni ridotte, sull'angolo di riflessione.

Questa prova viene molto richiesta quando si effettuano delle prove di invecchiamento accelerato in cui i parametri relativi alle caratteristiche ottiche e all'aspetto visivo sono molto importanti. Un esempio significativo è la prova di invecchiamento alla luce solare mediante xenotest. Sul campione sottoposto a questa prova è poco probabile che si osservi corrosione in quanto non è sottoposto allo spruzzo di una soluzione salina ma solo all'esposizione dei raggi solari. In questo caso si possono verificare quindi delle variazioni del colore o delle opacizzazioni. Per cui è molto importante fare un confronto tra le condizioni iniziali del campione e i risultati ottenuti al termine del test o a step concordati.

RESISTENZA AI COLPI DI PIETRA

La prova di resistenza ai colpi di pietra è un test che permette di verificare quanto un rivestimento resiste all'azione abrasiva del pietrisco scagliato da una determinata distanza e con una determinata pressione. Generalmente è utilizzata su rivestimenti organici come la verniciatura e uno dei campi in cui è molto

richiesta è quello dell'automotive. Infatti, la vernice che ricopre la carrozzeria di un'automobile può essere sottoposta all'azione abrasiva delle pietre per cui bisogna andare a testare quanto la vernice resiste a questa sollecitazione. Nelle strade, soprattutto nel periodo invernale, si possono trovare sui bordi molto pietrisco o simili. Frammenti di asfalto che si sono staccati, semplice pietrisco, sabbia o altro, con il movimento delle altre autovetture possono andare a graffiare la vernice. La prova consiste appunto nello "sparare" ad una certa pressione, definita in modo preciso dalle varie normative, del pietrisco contro un campione rivestito, posizionato ad una certa distanza. Le normative precisano anche quale tipo di pietrisco bisogna utilizzare per la prova. Possiamo trovare quindi delle pietre di fiume (quindi più arrotondate), sabbia o addirittura dei dadi metallici. Al termine della fase in cui il pietrisco viene "sparato" si analizza il campione e tramite l'utilizzo di immagini tipo e misurando i danni provocati dalle pietre, si dà una valutazione del campione e un giudizio di conformità.

RESISTENZA ALLE AGGRESSIONI CHIMICHE

La resistenza alle aggressioni chimiche è tutto un insieme di prove che permettono di valutare la resistenza di un rivestimento quando sottoposto all'azione aggressiva di agenti chimici. I campi di applicazione possono essere molteplici. Basta pensare che anche solo il fatto di toccare con il palmo di una mano una superficie può essere considerata un'aggressione chimica in quanto il sudore del nostro corpo e la nostra pelle sono lievemente acidi. Le soluzioni che possono essere usate sono

veramente tante: si può passare da soluzioni acide o basiche (acido cloridrico o idrossido di sodio in concentrazioni note) fino ad arrivare a soluzioni molto particolari come mix di insetti che si spiaccicano sul parabrezza.

Nel settore automotive si testano i rivestimenti per valutare la resistenza a soluzioni più specifiche o comunque che si possono trovare all'interno del sistema dell'automobile. Si può trovare quindi la resistenza alla benzina, al gasolio, all'olio motore, al liquido lavavetri, allo shampoo per il lavaggio della carrozzeria. Le normative che prevedono questo tipo di prove forniscono come requisiti generalmente solo un controllo dell'aspetto visivo. Per cui non si dovranno osservare cambiamenti di colore, opacizzazioni o macchie sul campione analizzato.

2.3.3 PROVE INCOLLAGGIO AUTOMOTIVE

Incollaggio mediante adesivi è un processo speciale che prevede l'unione di parti (substrati o aderenti) mediante un agente non metallico (adesivo). Le parti possono essere costituite da materiali diversi e presentare differenti caratteristiche superficiali. Il processo di incollaggio non altera le proprietà dei materiali delle parti unite. Un adesivo è un agente non metallico il quale è in grado di unire due parti attraverso interazioni generate sulle superfici d'interfaccia con le parti stesse (adesione) ed attraverso la sua resistenza interna (coesione).

L'utilizzo di giunzioni realizzate mediante adesivi in ambito automotive è, ad oggi, un'area in forte sviluppo/evoluzione; la possibilità, come già accaduto in altri settori (navale, aeronautico), di incidere in modo sostanziale su tempi, costi, pesi e

quant'altro ha reso la tecnologia della giunzione mediante adesivi interessante anche nell'ambito della realizzazione di veicoli. Tale interesse non si limita, peraltro, alle sole strutture secondarie e/o agli arredi ma si spinge anche a parti strutturali del veicolo stesso. Rispetto alle altre tecniche di giunzione meccanica tradizionali (quali ad esempio bullonature, rivettature e saldature) le giunzioni realizzate mediante adesivi permettono di sviluppare strutture più estese, soprattutto grazie ad una più uniforme distribuzione del carico. Nelle giunzioni realizzate mediante adesivi, infatti, il carico viene trasmesso gradualmente da un aderendo ad un altro attraverso lo strato adesivo presente nella zona di sovrapposizione (overlap region), il che equivale a dire che l'adesivo si comporta come una sorta di mediatore nella trasmissione del carico. Uno degli elementi di principale differenziazione fra i giunti adesivi e quelli meccanici risiede proprio nell'area di incollaggio che, normalmente più estesa di quella necessaria a realizzare la semplice chiusura/unione meccanica, permette di minimizzare la concentrazione delle tensioni rendendole quindi più uniformi nella zona di overlap. L'incollaggio è da ritenersi a tutti gli effetti un processo speciale; quindi, è stato necessario stabilire dei requisiti comuni su cui impostare il processo di progettazione, realizzazione e controllo e test di giunzioni mediante adesivi al fine di definire, in ambito automotive, un terreno comune di comunicazione fra clienti e fornitori. Questi requisiti si definiscono mediante dei piani prova, i clienti delle aziende automotive richiedono dei piani prova, ovvero una serie di procedure che definiscono le tipologie di prove finalizzate a determinare informazioni tecniche

specifiche. Le principali prove di incollaggio che vengono richieste nel settore automotive sono: distacco per taglio a nuovo, distacco per taglio a caldo, distacco per taglio a freddo, distacco per taglio dopo invecchiamento a caldo e distacco per taglio dopo invecchiamento a caldo umido.

CAPITOLO 3:

PRESENTAZIONE PROGETTO: CATALOGAZIONE PREPREG SECONDO PROVE

AQF

3.1 IDENTIFICAZIONE PROBLEMATICIA

Hp Composites è un'azienda che produce prodotti per settori di nicchia, quali il racing e il luxury, dove le produzioni sono caratterizzate da bassi volumi e bassi livelli di standardizzazione. Queste caratteristiche hanno portato l'azienda ad effettuare, inevitabilmente una produzione su commessa, per produzione su commessa si intende la realizzazione di prodotti su base di disegni specifici dei clienti. Ogni commessa può essere associata ad un progetto, il quale deve essere svolto nel rispetto dei costi, tempi e qualità accordati con il proprio cliente. HP Composites lavora sia per commesse di breve durata, ossia quelle che si concludono per un tempo inferiore all'anno, o di lunga durata, cioè quei progetti che vengono realizzati per più anni.

La strategia di produzione applicata alle diverse commesse è di tipo pull, in quanto i componenti che devono essere prodotti sono progettati e realizzati dopo che l'ordine è stato emesso e accettato. Questa strategia di produzione si applica al fine di ridurre le giacenze presenti in magazzino e i lead time di produzione, ossia il periodo di tempo che intercorre tra l'emissione dell'ordine da parte del cliente e la consegna del componente finale. Questo tipo di strategia porta, però ad una notevole complessità organizzativa e gestionale, infatti, è necessario che tutto il

sistema logistico si adatti alle necessità delle diverse commesse presenti in azienda. Data questa complessità gestionale, e la difficile organizzazione interna che comporta una strategia di produzione di questa tipologia, l'azienda HP Composites ha deciso di introdurre all'interno del loro team di lavoro dei project managers, che singolarmente si dedicano alle specifiche commesse, ogni project manager è responsabile di una o al massimo due commesse, inoltre i project manager collaborano tra loro e con le altre aree di interesse aziendale al fine di pianificare e di gestire in modo efficiente le risorse presenti in azienda.

I project managers, nella gestione delle commesse di cui sono responsabili, lavorano seguendo un ciclo di vita della commessa che si suddivide in quattro fasi principali che si possono rappresentare nel seguente flusso rappresentato:



Figura 3.1: Ciclo di vita della commessa

La prima fase è caratterizzata dalla richiesta che avanza il cliente, successivamente si procede alla raccolta di tutte le informazioni e gli elementi necessari al fine della stesura dell'offerta da parte del project manager. In seguito alla stesura

dell'offerta, quest'ultima viene proposta al cliente e si avvia una trattativa che si conclude con l'accettazione e la conferma dell'ordine da parte del cliente.

Nella seconda fase vengono identificate e programmate le attività necessarie allo sviluppo della commessa. Per fare ciò, i project manager di HP Composites si servono di strumenti e tecniche per la pianificazione dei progetti come il Diagramma di Gantt e PERT (Program Evaluation and Review Techniques).

Nella terza fase avviene la realizzazione operativa della commessa, ovvero si realizza la distinta base e la distinta cicli. Successivamente si procede con il controllo e il monitoraggio dell'esecuzione dei lavori.

L'ultima fase, ovvero quella conclusiva consiste nella chiusura e spedizione della commessa al cliente e si procede con la chiusura amministrativa della stessa.

Il Project Manager, quindi rappresenta un fattore centrale e caratterizzante nella realizzazione dei prodotti finiti in quanto, ha il compito di occuparsi anche dell'emissione della documentazione di progetto e di processo, evidenziando le linee guida che devono essere seguite per realizzare un prodotto che soddisfi i requisiti e le esigenze espresse dal cliente in fase di contrattazione.

Il ruolo del PM, dunque, è molto complesso poiché, i principali clienti con cui l'azienda si interfaccia sono clienti di pregio e specializzati nel campo d'interesse e quindi le richieste che quest'ultimi avanzano sono il frutto di una conoscenza approfondita e specializzata; ciò comporta per il Project Manager la necessità di

comprendere al meglio i requisiti anche tecnici dei propri clienti e di trasformare ogni loro richiesta in prodotti finiti altamente professionali.

Quindi il punto focale del progetto è quello di agevolare il project manager nell'interfacciarsi e nel fornire al cliente il meglio che l'azienda HP può proporre. Il primo passo che è stato fatto al fine del conseguimento di questo obiettivo consiste nell'identificare le principali problematiche che il Project Manager riscontra nella fase di preventivazione. A seguito di un confronto ed un'analisi approfondita delle difficoltà con i Project Manager, che gestiscono le principali commesse di Hp Composites, sono emerse notevoli e frequenti difficoltà. La problematica principale e ricorrente che è stata evidenziata dai Project Manager è la loro difficoltà nel definire i materiali e la sequenza di laminazione in fase di preventivazione e accettazione preventivo da parte dei clienti. Infatti, è stata riscontrata la necessità di catalogare pacchetti di materiali, ovvero insieme di pre-preg (materiali compositi fibrorinforzati, "pre-impregnati" nei quali un materiale matrice, come la resina epossidica), ordinati secondo la sequenza di laminazione. Per catalogazione si è intesa la richiesta da parte dei PM di standardizzare i pacchetti. Si è inizialmente definito un flusso logico che identifica i vari step che i Project Manager seguono nella fase di preventivazione per la definizione e l'approvazione del pacchetto:

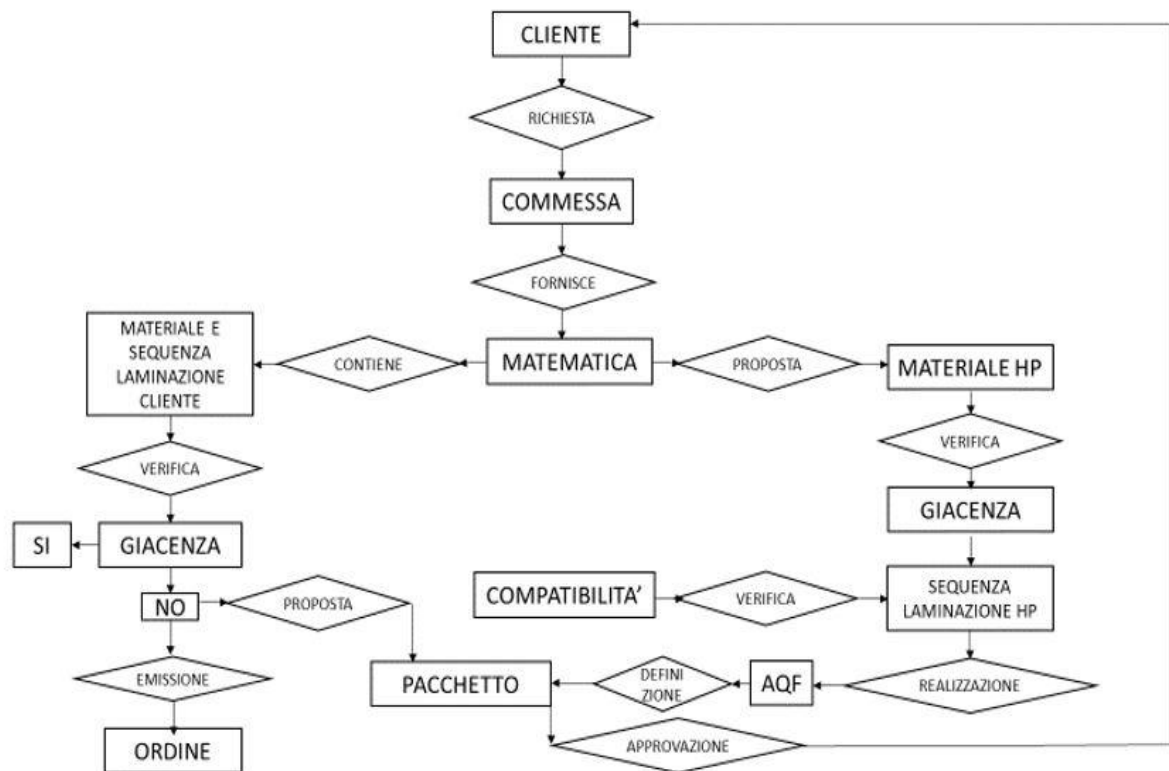


Figura 3.2: flusso informazioni fase preventivazione

Nella mappa-flusso informazioni si è partiti dal cliente il quale fornisce una commessa, tra i documenti che le case automobilistiche clienti forniscono ad Hp Composites c'è una matematica del pezzo. Successivamente si evidenziano due alternative che si possono seguire. La prima è quella dove nella matematica che il cliente fornisce contiene i materiali e la sequenza di laminazione che lui vuole venga utilizzata per la realizzazione del pezzo, da qui il PM provvede a controllare in magazzino se sono presenti i materiali richiesti dal cliente, in caso di esito negativo del controllo, si procede con l'emissione di un ordine. L'altra alternativa evidenziata è quella nella quale il PM propone materiali e sequenza di laminazione, il PM in questa seconda possibilità potrebbe proporre i pacchetti di pre-preg con la

sequenza di laminazione, nella proposta che il Project Manager tiene conto della tipologia di pezzo oggetto della contrattazione. I pacchetti possono essere proposti anche nel caso in cui, nella prima strada il materiale che il cliente richiede non sia in giacenza; infatti, un'alternativa ipotizzata all'emissione dell'ordine del materiale è quella della proposta da parte del Project Manager al cliente di un pacchetto alternativo, è quindi fondamentale dimostrare che il pacchetto che il PM propone ha le medesime caratteristiche del pacchetto richiesto dal cliente. In entrambe le alternative prese in esame nel flusso, i pacchetti di materiali con la sequenza di laminazione devono essere testati e superare le prove AQF ovvero prove di qualifica sul processo in quanto il materiale composito, date le sue caratteristiche, risente notevolmente del processo.

A valle della problematica esposta il progetto si è incentrato nella costruzione di un template nel quale sono stati riportati i pacchetti, ovvero le stratificazioni, listate testate e già in produzione, di un insieme di pezzi selezionati sia per carrozzerie Carbon Look, sia per carrozzerie Body Color e l'insieme dei test di verniciatura e incollaggio da queste superate. L'obiettivo su cui ci si è focalizzati è stato quello di mettere a disposizione dei Project Manager uno strumento che dia una risposta rapida e che può visionare al fine di proporre al cliente un'eventuale stratificazione con la certezza che la stessa abbia superato i test AQF automotive IATF. Il primo passaggio per la costruzione del template è stato quello dell'individuazione dell'insieme intersezione dei test AQF automotive IATF per i pezzi dei clienti e delle commesse principali, il primo passaggio per la realizzazione del progetto ha visto

una stretta collaborazione con il reparto R&D di Hp Composites, il quale si occupa della gestione e della realizzazione delle prove e lavora a stretto contatto con l'ufficio tecnico e con i Project Manager e fornisce loro report dettagliati sulle prove realizzate. La seconda fase è stata quella di selezionare determinati pezzi relativi alle principali commesse prese in esame e successivamente di estrapolare e riportare sul template le stratificazioni dei pezzi selezionati con relativo peso, densità e prezzo di ogni singolo strato di pre-preg e film adesivo. Successivamente è stata creata una codifica intuitiva delle stratificazioni che permettesse al Project Manager di capire in modo immediato le caratteristiche della stratificazione e infine è stato costruito il template, utilizzando lo strumento Excel, in modo da standardizzare e linearizzare le informazioni raccolte.

3.2 INDIVIDUAZIONE DELL'INSIEME DEI TEST AQF PER CARROZZERIE

Come primo passaggio si è ritenuto fondamentale individuare l'insieme intersezione dei test AQF automotive IATF per i pezzi dei clienti e delle commesse principali. I test AQF sono prove di qualifica sul processo interno, il composito date le sue caratteristiche risente notevolmente del processo di lavorazione che subisce. Nel caso in cui ci sia la necessità, per delle esigenze del cliente o di Hp Composites, di modificare il materiale o il processo è necessario riqualificare e sottoporre nuovamente il pezzo alle prove AQF. Nel momento in cui il componente preso in esame va in produzione, ovvero dopo che ha superato i test AQF, la configurazione

di esso è congelata e non è prevista più un'eventuale modifica. Le famiglie di prove prese in esame sono test sulla qualifica verniciatura del componente e test sugli incollaggi. Ogni prova, sia che appartenga alla famiglia delle prove di verniciatura sia che appartenga alla famiglia dei test di incollaggio, è identificata attraverso un CODICE PROVA, quest'ultimo indica il capitolato e il paragrafo di riferimento della prova, nel quale è descritta la prova, la modalità di esecuzione e sono presenti i limiti di accettabilità.

In seguito a diversi confronti con il reparto R&D si sono riuscite ad individuare l'insieme più efficiente delle prove AQF per carrozzerie.

Le prove AQF di auto qualifica fornitore su cui vengono testati i componenti di verniciatura sono relative a:

- Spessore;
- Durezza;
- Adesione;
- Invecchiamento accelerato agli agenti atmosferici e successiva adesione;
- Invecchiamento accelerato alla luce solare;
- Resistenza ai raggi UV;
- Resistenza all'umidità;
- Resistenza all'acqua;
- Resistenza alle variazioni di temperatura;
- Resistenza all'alcool;

- Resistenza ai colpi di pietra dopo cicli termici, dopo resistenza all'acqua, dopo resistenza all'umidità e a nuovo;
- Crock mar resistance;
- Brillantezza;
- Determinazione resistenza alle aggressioni chimiche;
- Prova di rigabilità mediante spazzolatura;
- Esame visivo;
- Resistenza alla benzina.

NORME PROVE VERNICITURA	
CODICE PROVA	DESCRIZIONE PROVA
Norma 1 §2.5	Spessore
Norma 1 §2.6	Durezza
Norma 1 §2.7	Adesione
Norma 1 §2.9	Invecchiamento Accelerato agli agenti atmosferici e successiva adesione
Norma 1 §2.11	Invecchiamento Accelerato alla luce solare
Norma 1 §2.10	Verniciature resistenza ai raggi UV
Norma 1 §2.12	Verniciatura resistenza all'umidità
Norma 1 §2.13	Verniciatura resistenza all'acqua
Norma 1 §2.14	Verniciature resistenza alle variazioni di temperatura
Norma 1 §2.16	Verniciature resistenti all'alcool
Norma 1 §2.20	Verniciatura resistente ai colpi di pietra dopo cicli termici, dopo resistenza all'acqua, dopo resistenza all'umidità e a nuovo
Norma 2	Crock mar resistance
Norma 1 §2.8	Brillantezza
Norma 1 §2.15	Determinazione resistenza alle aggressioni chimiche
Norma 1 §2.22	Prova di rigabilità mediante spazzolatura
Norma 1 §2.4	Esame visivo
Norma 1 §2.17	Resistenza alla benzina

Tabella 3.1: Norme Prove Verniciatura

Le prove AQF di auto qualifica fornitore su cui vengono testati i componenti di incollaggio sono prove riferite a:

- Distacco per taglio a nuovo (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo uno e due; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di verniciatura);
- Distacco per taglio a caldo (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo uno e due; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di verniciatura);
- Distacco per taglio a freddo (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo uno e due; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di verniciatura);
- Distacco per taglio dopo invecchiamento a caldo (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo uno e due; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di verniciatura);
- Distacco per taglio dopo invecchiamento a caldo umido (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo uno e due; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di verniciatura);
- Distacco per taglio dopo invecchiamento a caldo dopo cicli termici (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo uno e due; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di verniciatura);
- Adhesive joints-environmental aging and enviromental cycle aging.

NORME PROVE INCOLLAGGIO	
CODICE PROVA	DESCRIZIONE PROVA
Norma 3 §2.4.4.5	Distacco per taglio a NUOVO (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo 1 e 2; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di vernicatura)
Norma 3 §2.4.4.6	Distacco per taglio a CALDO (dopo indurimento, 1 e 2; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di vernicatura)
Norma 3 §2.4.4.7	Distacco per taglio a FREDDO (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo 1 e 2; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di vernicatura)
Norma 3 §2.4.4.8	Distacco per taglio DOPO INVECCHIAMENTO A CALDO (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo 1 e 2; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di vernicatura)
Norma 3 §2.4.4.9	Distacco per taglio DOPO INVECCHIAMENTO A CALDO UMIDO (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo 1 e 2; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di vernicatura)
Norma 3 §2.4.4.10	Distacco per taglio DOPO CICLI TERMICI (dopo indurimento, dopo invecchiamento a caldo 1 e 2; considerare l'indurimento 1 come processo reale di cura + e indurimento 2 come il processo reale di vernicatura)
CODICE PROVA	DESCRIZIONE PROVA
Norma 4	Adhesive Joints - Environmental Aging and Environmental Cycle Aging. Tensile shear test

Tabella 3.2: Norme Prove Incollaggio

3.3 SELEZIONE STRATIFICAZIONI QUALIFICATE DA HP COMPOSITES

Questa fase del progetto si è incentrata nella selezione accurata di determinati pezzi di carrozzeria relativi alle principali commesse prese in esame. Si è deciso di listare e di inserire nel template i pezzi che hanno le stratificazioni più comuni, in modo tale da riuscire nell'intento della standardizzazione, inoltre si è ritenuto necessario selezionare tipologie di componenti differenti in modo tale da listare sia le stratificazioni più comuni, ma con caratteristiche di componenti molto differenti tra loro. Infatti, inserendo nel progetto questi specifici pezzi si ha una probabilità più elevata che i Project Manager riescano a identificare la stratificazione di loro interesse. Questo processo di selezione è avvenuto in collaborazione con personale di elevata esperienza che opera all'interno dell'ufficio tecnico di Hp Composites. Si è partiti dunque dai clienti che richiedono le prove AQF, i clienti che richiedono queste specifiche prove sono tre, che verranno identificati con il nome di CLIENTE

1, CLIENTE 2 e CLIENTE 3. Per ogni cliente sono state selezionate determinate commesse e per ognuna di esse dei componenti. Le commesse sono indicate con la nomenclatura che viene utilizzata all'interno dell'azienda.

CLIENTE	COMMESSA	COMPONENTE
CLIENTE 1	C1	ESTRATTORE POSTERIORE
CLIENTE 1	C1	PARAURTI POSTERIORE
CLIENTE 1	C2	DORSALE ROLLBAR
CLIENTE 1	C2	DORSALE COFANO POSTERIORE
CLIENTE 1	B5	SCIVOLO
CLIENTE 1	B5	BRANCARDI
CLIENTE 1	B5	PARAURTI
CLIENTE 1	B9	COPRIBRANCARDO
CLIENTE 2	A1	MODANATURA PORTA
CLIENTE 2	A4	BEAUTY COVER
CLIENTE 2	A6	MINIGONNE
CLIENTE 2	A6	FRONT SKID PLATE E REAR SKID PLATE
CLIENTE 2	A2	CODOLINI
CLIENTE 2	A2	PARAFANGHI
CLIENTE 3	A9	REAR PANEL

Tabella 3.3: Tabella cliente, commessa, componente

ESTRATTORE POSTERIORE

Il diffusore, detto anche estrattore o scivolo estrattore, in campo automobilistico è un particolare elemento aerodinamico fisso collocato sul fondo di una vettura, atto a generare una spinta verso il basso per incrementare l'aderenza al suolo. Questo elemento può avere anche dimensioni notevoli, interessando buona parte del fondo vettura.

PARAURTI POSTERIORE

Il paraurti è una parte della carrozzeria di un veicolo la cui funzione è quella di prevenire, limitare o attutire i danni di una collisione a bassa velocità. Non sono in grado di ridurre i danni causati da impatti ad alte velocità. Nelle auto moderne i paraurti sono spesso verniciati in tinta con la carrozzeria ed il loro anche lieve danneggiamento compromette, se non si procede a riverniciatura, l'estetica del veicolo.

DORSALE ROLLBAR

Il rollbar è una struttura protettiva predisposta per proteggere gli occupanti di una vettura in caso di ribaltamento o incidente di qualsiasi genere e gravità.

DORSALE COFANO POSTERIORE

Il cofano è il portello apribile delle carrozzerie automobilistiche, posto a riparo del vano bagagli.

BRANCARDI

Il brancardo è la parte inferiore del sottoporta di una vettura. Si misura in genere dalla fine dell'arco passaruota anteriore, fino all'inizio dell'arco passaruota posteriore.

COPRIBRANCARDO

Il copribrancardo dal punto di vista estetico è destinato a collegare tra loro i due larghi parafanghi.

MODANATURA PORTA

La modanatura auto è un profilo verniciato o cromato che è messo nelle parti laterali della porta e nel paraurti anteriore e posteriore. Spesso, nelle porte è adesiva.

BEAUTY COVER

Le beauty cover sono coperture per motori che hanno lo scopo di ridurre l'inquinamento acustico grazie a materiali isolanti.

MINIGONNE

Le minigonne o bandelle laterali, sono un componente estetico e aerodinamico delle carrozzerie delle automobili, utilizzate prevalentemente nei modelli sportivi e ad alte prestazioni.

FRONT SKID PLATE E REAR SKID PLATE

Front skid plate e rear skid plate sono rispettivamente la piastra paramotore anteriore e piastra paramotore posteriore.

CODOLINI

Il codolino è una parte della carrozzeria di un veicolo la cui funzione è di raccordo tra la carrozzeria esterna (parafango) e il locaro parasassi dell'auto. Il codolino avvolge superiormente la ruota del veicolo e si congiunge in maniera armonica con l'interno dell'auto.

PARAFANGHI

Il parafango è una parte di un veicolo la cui funzione è quella di impedire che sabbia, fango, sassi, liquidi e altri spruzzi vengano lanciati in aria dallo pneumatico in fase di rotolamento, causando danni a persone e altri veicoli. Inoltre un'altra funzione più o meno sfruttata è quella aerodinamica, dove coprendo la ruota, dal mozzo in su, riduce la resistenza aerodinamica e in alcuni casi particolari anche altre funzioni, come convogliare l'aria al radiatore.

REAR PANEL

Per rear panel si intende il pannello posteriore dell'auto.

Il passo successivo alla selezione dei componenti è stato quello di individuare il codice alfanumerico che li descrive e permette di identificare loro all'interno del database aziendale e in seguito si è andati a cercare nelle loro cartelle di

riferimento la sequenza di stratificazione di ognuno di essi. Di seguito sono dunque riportate le stratificazioni caratterizzanti di ogni componente ed è anche riportato il codice alfanumerico appartenente ad ogni componente. Per alcune stratificazioni sono riportati più codici, questo sta a significare che la stratificazione in oggetto riguarda lo stesso componente che si può ripetere ad esempio nella parte destra e nella parte sinistra, oppure nella parte anteriore e nella parte posteriore.

CLIENTE1C1P0068000	CLIENTE1 C1 ESTRATTORE POSTERIORE
	GG204 P PP9
	GG380 T PP9

CLIENTE1C1P0001000	CLIENTE1 C1 PARAURTI POSTERIORE
	GG 204 P PP3
	GG 380 T PP3

CLIENTE1B5P0032000	CLIENTE1 B5 SCIVOLO
	GG 204 P PP3
	GG 380 T PP3

CLIENTE1C2P0146000	CLIENTE1 C2 DORSALE COFANO POSTERIORE
	XF3/300
	GG 204 P PP3
	GG 380 T PP3

CLIENTE1C2P0136000	CLIENTE1 C2 DORSALE ROLLBAR
	XF3/300
	VV 380 Twill PP3

CLIENTE1B5C0006000 SX	CLIENTE1 B5 BRANCARDI
	GG 204 P PP3
	GG 630 T PP3

CLIENTE1B5C0005000 SX	CLIENTE1 B5 BRANCARDI
	XF3-300
	GG 240T PP3
	GG 630 T PP3

CLIENTE1B5C0004000	CLIENTE1 B5 PARAURTI
	Film sup30-320
	GG204 P PP3
	GG630T PP3
CLIENTE1B9C0001000 SX	CLIENTE1 B9 COPRIBRANCARDO
CLIENTE1B9C0002000 DX	GG204P PP3
	GG630T PP3
CLIENTE2A1P0011000 ANT SX	CLIENTE2 A1 MODANATURA PORTA
CLIENTE2A1P0012000 ANT DX	GG240T PP3
CLIENTE2A1P0013000 POST SX	
CLIENTE2A1P0014000 POST DX	
CLIENTE2A4P0007000	CLIENTE2 A4 BEAUTY COVER
	GG 240T PP4
	GG 428T PP4
CLIENTE2A6P0101000 SX	CLIENTE2 A6 MINIGONNE
CLIENTE2A6P0102000 DX	GG240T PP4
	GG630T PP4
CLIENTE2A6P0103000	CLIENTE2 A6 FRONT SKID PLATE e REAR SKID PLATE
CLIENTE2A6P0104000	GG240T PP4
	GG630T PP4
CLIENTE2A2P0026000DX	CLIENTE2 A2 CODOLINI
CLIENTE2A2P0027000SX	GG200T PPX4
	GG630T PPX4
CLIENTE2A2P0022000DX	CLIENTE2 A2 PARAFANGHI
CLIENTE2A2P0023000SX	XF3/300
	GG200T PPX4
	GG630T PPX4
CLIENTE3A9P0001000	CLIENTE3 A9 REAR PANEL
	XF3/300
	PPM47/UD150
	PPM47/200T

Figura 3.3: Stratificazioni componenti

Le stratificazioni sono caratterizzate da strati di pre-preg ovvero pre-impregnati, che sono pannelli di materiali compositi fibrorinforzati "pre-impregnati" nei quali un materiale matrice, come la resina epossidica, è già presente. In alcune stratificazioni si possono notare dei film di superficie, il quale fornisce un'eccellente finitura superficiale ed è particolarmente adatto per le parti automobilistiche che richiedono un'eccellente finitura superficiale. I pre-preg che si utilizzano, ovvero che compaiono nelle sequenze delle stratificazioni sono caratterizzati da un codice che permette di identificarli (i codici che compaiono in questo elaborato sono sintetizzati e non corrispondono agli originali, hanno subito una modifica per motivi commerciali). Il codice che identifica il tipo di pre-preg che si sta utilizzando è composto dalla sigla della resina utilizzata per pre-impregnare il pannello, dalla percentuale della resina utilizzata, dalla sigla della fibra, dal numero di filamenti, dalla grammatura e dal tipo di tessitura della fibra di carbonio.

3.4 CODIFICA DELLE STRATIFICAZIONI

In seguito all'identificazione e alla raccolta delle stratificazioni è stata realizzata una codifica interna e di semplice comprensione che permettesse di descrivere e identificare le caratteristiche della stratificazione del componente di carrozzeria di riferimento. Lo scopo cardine, che ha portato alla realizzazione della codifica, è stato quello di rendere intuitiva e immediata la stratificazione. Nel processo di realizzazione della codifica c'è stata una stretta collaborazione con il reparto R&D

di Hp Composites e il personale dell'ufficio tecnico che, in seguito a diversi confronti ha stabilito le informazioni necessarie da inserire nella codifica al fine di renderla snella ma parlante. Per la costruzione della codifica si è appunto partiti dalla caratteristica del componente, ovvero se è un componente Carbon Look oppure se è un componente Body Color. Per componente Carbon Look (CL) si intende una particolare lavorazione con vernice trasparente, una verniciatura che risalta le trame intrecciate e i riflessi naturali del carbonio. Per Body color (BC) si intende, invece un componente verniciato. Nella codifica questa è stata la prima informazione inserita, e si è andato ad indentificare il componente Carbon Look con la sigla CL e il componente Body Color con la sigla BC.



Figura 3.4: Carbon Look e Body Color

L'informazione immediatamente successiva inserita nella codifica è stato il fornitore della resina e la tipologia di resina utilizzata. In seguito, viene indicato, nel caso di componete Body Color, la tipologia di film adesivo che è stato utilizzato. Informazione importante che si è ritenuto inserire riguarda il ciclo di cura. La cura è il processo attraverso cui si svolge la reticolazione della matrice polimerica che entra nella composizione di un determinato materiale composito.

La cura avviene in tre stadi:

- stadio di flusso;
- stadio di gel (o gelificazione);
- vetrificazione.

Lo stadio di flusso è la fase iniziale del processo di cura; durante questa fase il materiale è una soluzione liquida contenente monomeri. Tali monomeri cominciano ad aggregarsi formando catene polimeriche lineari. Aumenta di conseguenza il peso molecolare e la viscosità della soluzione. Si tratta chiaramente di una fase transitoria che sarà seguita dalla gelificazione. La gelificazione è il secondo stadio del processo di cura di un monomero durante la realizzazione di un materiale composito. La gelificazione è quindi responsabile della trasformazione della resina dallo stato liquido allo stato gommoso. In questo stadio si ha la presenza di due fasi: una parte già solidificata, e una fase ancora liquida che può essere eventualmente estratta con dei solventi. La reazione continua a velocità abbastanza elevata; in questo stadio la viscosità della resina aumenta molto, a discapito quindi della fluidità. La vetrificazione di un polimero durante il processo di cura di un materiale composito si ha quando la temperatura di transizione vetrosa aumenta fino alla temperatura di cura, portando alla trasformazione da gommoso a solido vetroso gelificato (se è avvenuta la gelificazione) o da liquido a vetro non gelificato (se non è avvenuta la gelificazione). In questo stadio la velocità di cura si riduce e l'ulteriore reticolazione avviene per diffusione. In questo stadio il

materiale ha scarsa deformabilità, ma buona manipolabilità che gli permette di essere estratto dagli stampi e trattato con lavorazioni post-cura.

Il ciclo di cura può avvenire in autoclave o in pressa. Per il ciclo di cura in autoclave, l'obiettivo dell'autoclave è quello di applicare dei cicli termici che realizzino delle distribuzioni uniformi di temperatura e di pressione. La temperatura favorisce la cura della resina. La pressione provoca la fuoriuscita della resina in eccesso e dei gas intrappolati all'interno degli strati di materiale. Per ciclo di cura in pressa il materiale composito pre-impregnato viene disposto su uno stampo aperto riscaldato, generalmente metallico ed ottenuto da lavorazione CNC. Il materiale viene poi chiuso con il controstampo e pressato. Calore e pressione vengono mantenuti con cicli di cura dedicati. I processi si possono distinguere abbastanza genericamente in due tipi: uno per l'utilizzo di fibre lunghe con delle sagome preformate, l'altro per l'utilizzo di fibre corte (short chopped fibers). Entrambi utilizzano matrici di resina termoindurente ed alcuni prodotti potrebbero richiedere la presenza di entrambe le tipologie di fibre. Nella codifica la distinzione tra ciclo di cura in autoclave e ciclo di cura in pressa viene fatta indicando con Standard ovvero con la lettera S il ciclo di cura in autoclave e con Fast ovvero con la lettera F il ciclo di cura in pressa. Con il ciclo Fast si ha la possibilità di mantenere costante ovvero sempre calda la temperatura della pressa.

Ultima informazione inserita della codifica è stato lo spessore del pre-preg e quante volte quello strato si ripete nella stratifica, ad esempio se la stratificazione d'interesse fosse stata composta da uno strato di pre-preg di 204 e due strati di

380, la codifica di questa parte risulterebbe 204+380(2), ovvero uno strato di 204 e due di 380.

Prendendo in esame alcune stratificazioni dei componenti di carrozzeria scelti per la realizzazione del progetto la codifica risulta la seguente:

per il componente brancardi della commessa B5 del CLIENTE1: CL_PP3_S_204+630

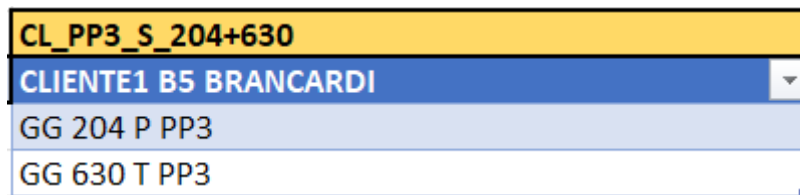


Figura 3.5: Stratificazione e codifica brancardi

La codifica in questione descrive che si tratta di un componente Carbon Look (CL), il fornitore e la tipologia di resina indicati con PP3 (questa parte della codifica è stata modificata ai fini della stesura della tesi per motivi commerciali), con S la codifica fa capire che il ciclo di cura effettuato è Standard quindi in autoclave e infine con 204+630 il Project Manager ha la possibilità di capire che la stratificazione è composta da due strati uno di 204 e uno di 630.

Per il componente minigonne della commessa A6 del CLIENTE2: CL_PP4_F_240+630

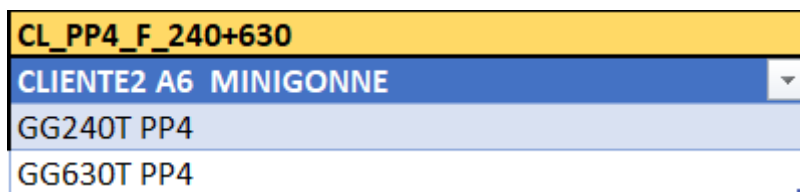


Figura 3.6: Stratificazione e codifica minigonne

La codifica in questione descrive che si tratta di un componente Carbon Look (CL), il fornitore e la tipologia di resina indicati con PP4 (questa parte della codifica è stata

modificata ai fini della stesura della tesi per motivi commerciali), con F la codifica fa capire che il ciclo di cura effettuato è Fast quindi in pressa e infine con 240+630 il Project Manager ha la possibilità di capire che la stratificazione è composta da due strati uno di 240 e uno di 630.

Per il componente dorsale cofano posteriore della commessa C2 del CLIENTE1:

BC_PP3_S_XF3_204+380

BC_PP3_S_XF3_204+380
CLIENTE1 C2 DORSALE COFANO POSTERIORE
XF3/300
GG 204 P PP3
GG 380 T PP3

Figura 3.7: Stratificazione e codifica Dorsale cofano posteriore

Nella seguente codifica, a differenza delle precedenti si tratta di un componente Body Color (BC) e in quest'ultima si può notare come è stata inserita la presenza del film di superficie all'interno della codifica.

La codifica è stata svolta per tutti i componenti protagonisti del progetto.

3.5 COSTRUZIONE TEMPLATE

In seguito all'individuazione dell'insieme delle prove AQF per carrozzerie Carbon Look e Body Color e, in seguito alla selezione delle stratificazioni già qualificate da Hp Composites si è arrivati all'organizzazione e alla realizzazione di uno strumento per rendere fruibili e snelle le informazioni ricavate affinché i Project Manager

possano consultarlo per fornire una proposta tempestiva e qualificata ai clienti. Lo strumento di cui ci si è serviti per la realizzazione del template è Excel.

Il primo passo per la realizzazione del template è stata la costruzione e la realizzazione di una tabella per le prove di verniciatura e una tabella per le prove di incollaggio, ogni tabella è stata realizzata in un differente foglio del file Excel.

La prima tabella realizzata è stata quella per le prove di verniciatura, quest'ultima è stata organizzata in modo tale da riportare tutte le prove AQF di verniciatura identificate nella fase precedente e le codifiche riferite alle stratificazioni selezionate nella fase precedente. Le prove sono state riportate lungo le righe della tabella, le codifiche, con il cliente a cui appartiene il componente della codifica, sono state riportate nella colonna della tabella. In seguito alla realizzazione dello scheletro della tabella, si sono andati a consultare i report redatti dal reparto R&D sulle prove effettuate su ogni componente preso in considerazione. Grazie alla consultazione di questi documenti si è potuto colorare di verde la casella incrocio della tabella tra la stratifica del componente, oggetto del report, e le prove che esso ha superato. Ovvero, lo scopo della realizzazione della tabella è dunque, quello di dare una risposta rapida e ad impatto visivo. Il criterio con la quale è stata completata è stato quello di verificare per ogni componente, i test di verniciatura a cui era stato sottoposto e riempire con il colore verde, in modo simbolico, la casella incrocio tra il componente e la prova da esso superata, in modo tale da indicare che quel componente è certo che ha superato il test.

	CL_PP3_S_204+380	CL_PP3_S_204+380	CL_PP3_S_204+380	BC_PP3_S_XF3_380	CL_PP3_S_XF3_204+380	CL_PP3_S_204+630	CL_PP3_S_204+630	BC_PP3_S_XF3_240+630	BC_PP3_S_F530_630+204	CL_PP3_S_240	CL_PP4_F_428+240	CL_PP4_F_240+630	CL_PP4_F_240+630	CL_PP4_S_200+630	BC_PP4_S_XF3_200+630	BC_PP47_S_XF3_150+200
	CLIENTE 1	CLIENTE 1	CLIENTE 1	CLIENTE 1	CLIENTE 1	CLIENTE 1	CLIENTE 1	CLIENTE 1	CLIENTE 1	CLIENTE 2	CLIENTE 2	CLIENTE 2	CLIENTE 2	CLIENTE 2	CLIENTE 2	CLIENTE 3 A3
PROVE																
Spessore																
Durezza																
Adesione																
Invecchiamento accelerato agli agenti atmosferici e successiva adesione																
Invecchiamento accelerato alla luce solare																
Resistenza ai raggi UV																
Resistenza all'umidità																
Resistenza all'acqua																
Resistenza alle variazioni di temperatura																
Resistenza all'alcool																
Resistenza ai colpi di pietra dopo cicli termici, dopo resistenza all'acqua, dopo resistenza all'umidità e a nuovo																
Crock mar resistance																
Brillantezza																
Determinazione resistenza alle aggressioni chimiche																
Prova di riabilitazione mediante spazzolatura																
Esame visivo																
Resistenza alla benzina																

Figura 3.8: Tabella prove di Verniciatura

Il risultato ottenuto è la tabella nella figura 3.8, si può prendere come esempio esplicativo il componente del CLIENTE1 con codifica della stratifica, relativa al componente, CL_PP3_S_204+380, si può capire dalla tabella che ha superato i test: spessore, durezza, adesione, invecchiamento accelerato agli agenti atmosferici e successiva adesione, resistenza ai raggi UV, resistenza all'umidità, resistenza all'acqua, resistenza alle variazioni di temperatura, resistenza all'alcool, resistenza ai colpi di pietra dopo cicli termici, dopo resistenza all'acqua, dopo resistenza all'umidità e a nuovo e crok mar resistance.

Le caselle della tabella che non sono state riempite e sono di colore bianco stanno ad indicare che il componente non ha effettuato quel determinato tipo di test e non che il componente con quella stratifica non ha superato il test.

Il medesimo criterio e metodo è stato utilizzato per la costruzione della tabella riguardante i test di incollaggio; infatti, anche in questa seconda tabella sono riportate l'insieme dei test AQF di incollaggio e la codifica delle stratificazioni dei componenti. A differenza della tabella per le prove di verniciatura, per la tabella delle prove di incollaggio è stato necessario aggiungere un livello di dettaglio maggiore, si sono inseriti la tipologia di incollaggio e la colla con la quale è stato effettuato l'incollaggio; infatti, le prove non vengono eseguite per tutte le tipologie di incollaggio ma solo per alcune. Come nel precedente caso, si sono inserite le prove nelle righe e la codifica delle stratificazioni nelle colonne.

Nella colonna immediatamente successiva a quella riportante le prove sono state inserite per ogni prova la tipologia di incollaggio, le tipologie di incollaggio sono:

- Carbonio-Acciaio Inox 316;
- Carbonio-Carbonio;
- Carbonio-PUR HT;
- Carbonio-PC+ABS
- Carbonio-PA6-GF30
- Carbonio-ABS
- Carbonio-POMC
- Vetro-AL5754
- Vetro-PA6-GF15
- Carbonio-PP

La modalità di inserimento delle tipologie di incollaggio si va a mostrare nella seguente figura:

PROVE	Tipologia incollaggio
Distacco per taglio a nuovo	Carbonio - Acciaio Inox 316
	Carbonio-Carbonio
	Carbonio-PUR HT
	Carbonio -PC+ABS
	Carbonio -PA6-GF30
	Carbonio -ABS
	Carbonio - POMC
	Vetro - AL5754
	Vetro-PA6-GF15
	Carbonio - PP
Distacco per taglio a caldo	Carbonio-Acciaio Inox 316
	Carbonio-Carbonio
	Carbonio-PUR HT
	Carbonio -PC+ABS
	Carbonio-PA6-GF30
	Carbonio -ABS
	Carbonio - Plastica (POM)
	Vetro- AL5754
	Vetro-PA6-GF15
	Carbonio - PP

Figura 3.9: Estratto tabella prove di Incollaggio

Nella prima riga della tabella sono state invece riportate le colle, le quali vengono ripetute per ogni stratificazione, come si va a mostrare nella seguente figura:

CL_PP9_S_204+380			CL_PP3_S_204+380			CL_PP3_S_204+380		
CLIENTE 1 C1			CLIENTE 1 C1			CLIENTE 1 B5		
COLLA 1	COLLA 2	COLLA 3	COLLA 1	COLLA 2	COLLA 3	COLLA 1	COLLA 2	COLLA 3

Figura 3.10: Estratto tabella prove di Incollaggio

In questo caso il criterio di riempimento delle caselle d'incrocio della tabella è di maggiore dettaglio rispetto al caso precedente. Dalla consultazione dei report relativi alle prove di incollaggio redatti dal reparto di R&D, si è andato ad estrapolare, per ogni componente, che prova ha superato, con quale tipologia di incollaggio e con quale colla, o adesivo e si è andati a completare la tabella relativa alle prove di incollaggio colorando la casella di verde corrispondente.

		B.C. PP3_S_XF3_380			C.L. PP3_S_XF3_204+380			C.L. PP3_S_204+630			C.L. PP3_S_204+630		
		CLIENTE 1 C2			CLIENTE 1 C2			CLIENTE 1 B5			CLIENTE 1 B9		
		COLLA 1	COLLA 2	COLLA 3	COLLA 1	COLLA 2	COLLA 3	COLLA 1	COLLA 2	COLLA 3	COLLA 1	COLLA 2	COLLA 3
PROVE	Tipologia incollaggio												
Distacco per taglio a nuovo	Carbonio - Acciaio Inox 316												
	Carbonio-Carbonio												
	Carbonio-PUR HT												
	Carbonio-PC+ABS												
	Carbonio-PA6-GF30												
	Carbonio - ABS												
	Carbonio - POMC												
	Vetro - AL5754												
	Vetro-PA6-GF15												
	Carbonio - PP												
Distacco per taglio a caldo	Carbonio-Acciaio Inox 316												
	Carbonio-Carbonio												
	Carbonio-PUR HT												
	Carbonio-PC+ABS												
	Carbonio-PA6-GF30												
	Carbonio - ABS												
	Carbonio - Plastica (POM)												
	Vetro- AL5754												
	Vetro-PA6-GF15												
	Carbonio - PP												

Figura 3.10: Estratto tabella prove di Incollaggio

In seguito alla costruzione delle tabelle, si è pensato al fine di semplificare la comprensione e avere un quadro più completo per i Project Manager, di inserire nelle tabelle dei collegamenti ipertestuali. Sia per la tabella dei test relativi alla verniciatura, sia per quella dei test relativi agli incollaggi si è pensato di inserire dei collegamenti sulla descrizione delle prove e sui limiti di accettabilità di esse e sulla codifica della stratificazione del componente.

Per quanto riguarda le prove si è ritenuto necessario effettuare un collegamento ipertestuale tra il nome della prova, che sia di verniciatura o incollaggio e un foglio appartenente al medesimo file Excel, nel quale sono state riportate le norme, specificando a quale particolare capitolato e paragrafo di esso appartengono. Nella

figura sottostante è rappresentato un estratto in modo tale da comprendere la logica e il funzionamento del collegamento ipertestuale:

NORME PROVE VERNICATURA	
CODICE PROVA	DESCRIZIONE PROVA
Norma 1 §2.5	Spessore
Norma 1 §2.6	Durezza
Norma 1 §2.7	Adesione

Figura 3.11: Estratto collegamento ipertestuale prove e descrizione prove

In particolare, nella figura in esame sono state prese tre prove AQF di verniciatura: spessore, durezza e adesione. Il Project Manager cliccando sulle prove presenti nella tabella della verniciatura (prima parte della figura) viene ricondotto al foglio Excel dove sono elencate le prove con i loro relativi codici (seconda parte della figura), ovvero il capitolato con il paragrafo di riferimento. Successivamente si è pensato di mettere a disposizione dell'utilizzatore del template informazioni aggiuntive; infatti, in seguito ad un ulteriore confronto con i Project Manager è emerso che frequentemente necessitano di consultare i capitolati dove vengono descritte le prove e i loro limiti di accettabilità. I capitolati a cui si fa riferimento vengono forniti dal cliente in allegato al piano AQF, ovvero piano delle prove che il cliente chiede siano effettuate sul suo componente. Quindi si è effettuato un ulteriore collegamento ipertestuale avente lo scopo di collegare il capitolato e il

paragrafo al foglio, appartenete al medesimo file, dove sono stati riportati degli estratti del capitolato che descrivono la prova e i limiti di accettabilità di essi.

NORME PROVE VERNICATURA	
CODICE PROVA	DESCRIZIONE PROVA
Norma 1 §2.5	Spessore
Norma 1 §2.6	Durezza
Norma 1 §2.7	Adesione

↓


NORME PROVE DI VERNICIATURA	
<p>2.5 Thickness</p> <p>2.5.1 The thickness measurement is carried out by micro-graphic method. The measurement is carried out in section and, therefore, a sample of at least 3 sq. cm shall be taken from the part that is being tested. The measurement can be carried out applying the special equipment (RIS) directly to the part, after cutting the layers until uncovering the support.</p> <p>2.5.2 Compare the measured values with the limits possibly prescribed in the relevant "Specifications Data Sheet", indicated on drawing or in the specific document issued by the Supplier and attached to the Self-qualification Test Plan (Procedure 07740).</p>	Norma 1 §2.5
<p>2.6 Hardness</p> <p>2.6.1 Carry out the measurement according to the modalities and equipment described in Standard 50452/02.</p>	Norma 1 §2.6
<p>2.7 Adhesion</p> <p>Carry out the test according to the modalities and equipment described in Standard 50461, making use of adhesive tape of type L (Proc. Spec. MS 90086). Compare the measured values with the limits prescribed in the relevant "Specifications Data Sheet". If foreseen, repeat the test at the end of the aging procedures after conditioning at environmental temperature for:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 hours with "SOLVENT TECHNOLOGY" coating cycles - 0 hours with "WATER TECHNOLOGY" coating cycles <p>At the end of the test compare measured values with the prescribed limits.</p> 	Norma 1 §2.7

Figura 3.11: Estratto collegamento ipertestuale norme e descrizione prove

Dunque, il Project Manager ha la possibilità, cliccando sul capitolato, di essere ricondotto ad un ulteriore foglio dove può trovare la descrizione e la spiegazione della norma estratta dal capitolato originale fornito dal cliente. Un esempio esplicativo lo si può vedere dalla figura 3.11, nella prima parte è riportato un estratto della tabella dove sono elencate le prove con i relativi capitolati (norma) e i

paragrafi di riferimento, l'utente del template, cliccando su quest'ultimi, attraverso il collegamento ipertestuale, può essere ricondotto al foglio dove sono descritte le prove, ne è mostrato un estratto nella seconda parte della figura. Introducendo anche questo ulteriore livello di dettaglio si è consentito ai Project Manager di avere una visione completa inerente alle prove, in maniera immediata direttamente sul template eliminando la necessità che effettuino ulteriori ricerche tra i documenti all'interno delle cartelle condivise.

Come esposto in precedenza, sulle tabelle relative ai test di verniciatura e ai test di incollaggio, sono stati inseriti dei collegamenti ipertestuali, oltre che per la descrizione dei test, anche per la codifica della stratificazione. Infatti, si è ritenuto necessario introdurre, la stratifica completa del componente, e inoltre per ogni strato della stratifica di ogni singolo componente si sono andati ad inserire il peso in g/m^2 , la densità del composito in g/cm^3 , lo spessore in mm e prezzo espresso in €/mq, informazioni che i Project Manager hanno ritenuto necessario inserire al fine di rendere completa la consultazione del template. Dunque, è stato realizzato un collegamento ipertestuale tra la codifica, realizzata nel passaggio precedente del progetto, presente sulle entrambe le tabelle riportanti le norme e un foglio, dello stesso file Excel, riportante in modo dettagliato le singole stratificazioni con le informazioni e i calcoli riguardanti peso, densità composito, spessore e prezzo. Prendendo in esame un estratto dal template rappresentato nella figura sottostante si può comprendere come si è pensato di organizzare le informazioni.

CL_PP9_S_204+380	CL_PP3_S_204+380	CL_PP3_S_204+380	BC_PP3_S_XF3_380
CLIENTE 1 C1	CLIENTE 1 C1	CLIENTE 1 B5	CLIENTE 1 C2



		PESO [g/m ²]	DENSITA' COMPOSITO [g/cm ³]	SPESSORE TESSUTO (mm)	PREZZO €/mq
	CL_PP9_S_204+380				
CLIENTE1C1P0068000	CLIENTE1 C1 ESTRATTORE POSTERIORE				
	GG204 P PP9	351,7	1,55	0,20	\$\$\$
	GG380 T PP9	623,0	1,51	0,36	\$\$\$
	TOTALE			TOTALE	TOTALE
	CL_PP3_S_204+380				
CLIENTE1C1P0001000	CLIENTE1 C1 PARAU RTI POSTERIORE				
	GG 204 P PP3	377,8	1,57	0,20	\$\$\$
	GG 380 T PP3	655,2	1,56	0,36	\$\$\$
	TOTALE			TOTALE	TOTALE
	CL_PP3_S_204+380				
CLIENTE1B5P0032000	CLIENTE1 B5 SCIVOLO				
	GG 204 P PP3	377,8	1,57	0,20	\$\$\$
	GG 380 T PP3	655,2	1,56	0,36	\$\$\$
	TOTALE			TOTALE	TOTALE
	BC_PP3_S_XF3_380				
CLIENTE1C2P0136000	CLIENTE1 C2 DORSALE ROLLBAR				
	XF3/300	300,0	1,50	0,20	\$\$\$
	VV 380 Twill PP3	575,8	1,59	0,32	\$\$\$
	TOTALE			TOTALE	TOTALE

Figura 3.12: Estratto collegamento ipertestuale codifica stratifica e stratificazioni

Il Project Manager, cliccando sulla codifica della stratifica presente sia nella tabella delle prove di verniciatura, sia nella tabella delle prove di incollaggio, viene ricondotto ad un foglio Excel, appartenente al medesimo file, dove ha la possibilità di consultare in modo dettagliato la composizione delle stratificazioni di ogni singolo componente, in questo foglio si è pensato di aggiungere anche i codici alfanumerici identificativi del componente all'interno dell'azienda. Inoltre, si è

inserito il peso di ogni strato, la densità composito, lo spessore di ogni strato e della stratificazione completa e il prezzo. Il peso è stato estrapolato dalla scheda tecnica di ogni materiale. Per la densità del composito si è utilizzata la formula della regola delle miscele: $\delta F * VF + \delta M * VM$, nella quale δF rappresenta la densità delle fibre ovvero 1,8 g/cm³, δM rappresenta la densità della matrice ovvero 1,2 g/cm³ e VF e VM rappresentano rispettivamente il volume delle fibre e il volume della matrice. Per i volumi della matrice sono state utilizzate le percentuali di resina che sono riportate nella sigla identificativa di ogni strato di pre-impregnato (nel seguente elaborato non sono riportate per motivi commerciali) e per i volumi delle fibre sono stati calcolati utilizzando una formula inversa ovvero 100 – la percentuale della resina. Si sono dunque calcolate le densità di ogni strato, applicando la regola delle miscele. In seguito, avendo a disposizione il valore del peso e il valore della densità del composito è stato possibile ricavare lo spessore in mm di ogni singolo strato delle stratificazioni, per poi sommarli e ricavare lo spessore totale del componente. Lo spessore è stato dunque ricavato con la seguente formula: $[\text{Peso (g/m}^2) / \text{Densità Composito (g/cm}^3)] * 10^{-3}$. Come ultimo dato si è inserito il prezzo €/mq per ogni singolo strato e il totale per la stratifica. La stratifica è il primo criterio di ricerca che ha il Project Manager a disposizione, quindi si è ritenuto fondamentale, oltre alla codifica, inserire queste informazioni nel template.

3.6 RISULTATI PROGETTO

In seguito alla raccolta delle prove AQF relative alla verniciatura e agli incollaggi si è dunque costruito il template con lo scopo di standardizzare e comprimere molte informazioni e dati che erano disponibili per il Project Manager ma di difficile reperimento. Il template è stato quindi realizzato su un foglio di lavoro di Excel, esso contiene una raccolta delle stratificazioni più comuni finora qualificate da Hp Composites e le famiglie delle prove AQF di verniciatura e incollaggio da esse superate e si sono inseriti dei collegamenti ipertestuali per raggiungere un maggiore livello di dettaglio delle informazioni sulle stratificazioni e sulle prove. Si è quindi realizzato uno strumento con lo scopo di standardizzare e rendere snelle le informazioni. Dunque, in seguito alla realizzazione del template, si sono svolte delle riunioni per la presentazione di esso, sia con i Project Manager, che con il team del reparto R&D che ha collaborato alla realizzazione. I Project Manager, in seguito ad una spiegazione della logica del funzionamento del template, hanno trovato essere quest'ultimo uno strumento ben strutturato e contenente molte delle informazioni a loro necessarie, anche i PM che operano nel campo del composito da meno tempo e quindi meno esperti del settore hanno riscontrato intuitività e chiarezza delle informazioni. Infine, da un ulteriore confronto con il reparto R&D, si è pensato di prevedere nel template l'inserimento di commenti e note tecniche forniti da loro affinché i PM, caso di necessità, hanno a disposizione dettagli tecnici.

Infine, dopo la presentazione del progetto agli organi dirigenziali dell'azienda, il template è stato messo a disposizione dei Project Manager ed è stato inserito nel sistema di condivisione aziendale.

CONCLUSIONE

Nel precedente capitolo, si sono illustrati e descritti tutti i passaggi che hanno condotto alla realizzazione del progetto di tirocinio, l'obiettivo principale era quello di gestire, ovvero organizzare e standardizzare informazioni presenti all'interno dell'ambito aziendale, al fine di agevolare la consultazione delle stesse ai Project Manager nella fase di contrattazione con i clienti. Quindi il punto focale del progetto è stato quello di fornire ai Project Manager uno strumento che rendesse snelle e organizzate le soluzioni tecniche per progettare pannelli di carrozzeria, conformi ai requisiti di qualità automobilistica, che lo stesso può proporre ai clienti, al fine soddisfare i requisiti richiesti. L'obiettivo è stato raggiunto, ma si tratta solo del punto di partenza, tale strumento va infatti incrementato nel tempo e aggiornato, così da permettere una corretta e sostanziale utilizzazione da parte dei Project Manager.

SITOGRAFIA

<https://www.hpcomposites.it/>

<https://www.rina.org/it/qms-in-the-automotive-sector>

<https://www.nqa.com/it-it/certification/standards/iatf-16949>

<https://insights.pecb.com/wp-content/uploads/2016/12/benefits-of-implementing-iatf-16949.png>

<https://nebbiasalina.com/prove/rivestimenti-superficiali/>

<https://pulikom.com/laboratorio-prove-conforme-iatf-16949-per-test-di-pulizia/>

<http://dida.fausser.edu/dispro/carbonar/I materiali/compositi.html>

<https://tecmatied.wordpress.com/2014/04/29/i-materiali-compositi/>

http://www.polismanettoni.altervista.org/alterpages/files/37Cap_libro.pdf

<https://www.nautechnews.it/2015/03/09/le-resine-epossidiche/>

<https://www.infobuild.it/approfondimenti/materiali-compositi/#Tecnologie-fabbricazionemateriali-compositi>

<https://www.hexagonmi.com/it-it/solutions/applications/composites/composite-materials-in-automotive>

<https://vehiclecue.it/materiali-compositi-cosa-sono-importanza-automotive/26892/>

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento al mio relatore, il Prof. Maurizio Bevilacqua, per avermi seguito in questo momento cruciale della mia carriera universitaria, per la sua disponibilità e per le conoscenze trasmesse durante tutto il percorso universitario.

Un ringraziamento all'azienda l'HP Composites che mi ha permesso di svolgere il tirocinio, inoltre, mi ha dato la possibilità di vivere un'esperienza formativa grazie alla quale ho potuto toccare con mano la realtà aziendale.

Un ringraziamento al mio Tutor Aziendale Ing. Guerino Lattanzi e un ringraziamento all'Ing. Giulio Strambi i quali hanno contribuito ad arricchire le mie conoscenze e competenze.

A mio Padre e a mia Madre che hanno sempre creduto in me, che mi hanno insegnato ad avere fiducia e non mollare mai e mi hanno sostenuta in questo percorso di studi.

A Nonno Carlo il quale mi ha trasmesso l'importanza del sapere.

A Lapo che non mi ha lasciata mai sola nelle lunghe giornate di studio.

A Mattia che mi ha visto piangere, ridere e crescere, che mi ha sostenuta nei momenti più difficili e c'è sempre stato.

Alle Comari Beatrice, Fabiola, Maria Stella, Michela e Noemi con le quali ho avuto la fortuna di condividere questo percorso di vita, che hanno contribuito a rendere più

leggera la quotidianità della vita universitaria, non mi hanno mai fatto sentire sola e anche se le nostre strade si divideranno avrete sempre posto nel mio cuore.

Ai miei amici “bessbro” che hanno reso divertente e spensierato ogni istante trascorso con loro.

A tutti i miei compagni di università con i quali ho condiviso ansie e momenti di divertimento.

A me stessa, alla mia forza di volontà che mi ha permesso di non mollare mai e raggiungere questo traguardo.