



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale
in
Economia e gestione delle aziende

Tesi di Laurea

Gli strumenti e le tecnologie digitali a supporto del processo di sviluppo di nuovi prodotti

Relatore

Ch. Prof. Anna Cabigiosu

Correlatore

Ch. Prof. Vladi Finotto

Laureando

Andrea Vaccari

Matricola 844673

Anno Accademico

2016 / 2017

*A mio Padre, mia Madre,
Elena, Giulia e Davide*

INDICE

Introduzione.....	1
Capitolo 1. Le fasi del processo di sviluppo di nuovi prodotti e le relative tecniche a supporto	3
1.1 La pianificazione del prodotto	5
1.2 Lo sviluppo del concept	11
1.2.1 Definizione delle specifiche di prodotto	13
1.2.2 Creazione del concept.....	16
1.2.3 Selezione del concept.....	20
1.2.4 Test del concept.....	25
1.3 La progettazione a livello di sistema.....	28
1.4 La progettazione di dettaglio.....	32
1.4.1 Design for Manufacturing e Design for Assembly.....	34
1.4.2 <i>Robust Design</i>	38
1.5 Prototipazione, test e lancio del prodotto.....	40
Capitolo 2. L’impatto delle tecnologie digitali sul processo di sviluppo di nuovi prodotti	45
2.1 Gli effetti sull’organizzazione e sull’attività di <i>problem-solving</i> aziendale.....	45
2.1.1 Metodo deduttivo e metodo induttivo.....	46
2.1.2 Gli strumenti di simulazione virtuale e l’applicazione del metodo abduttivo: il caso <i>automotive</i>	49
2.2 I sistemi 3D CAD.....	54
2.2.1 Attributi distintivi e benefici chiave	55

2.2.2	Impatti a livello organizzativo: il caso Boeing 777.....	57
2.3	La rivoluzione delle stampa 3D.....	64
2.3.1	Principali tecniche di stampa.....	66
2.3.2	Vantaggi d'implementazione e connessi cambiamenti organizzativi.....	69
2.3.3	Punti di debolezza e potenziali sviluppi futuri.....	73
2.4	Realtà Virtuale e Realtà Aumentata.....	77
2.4.1	Realtà Virtuale: iter evolutivo e principi di funzionamento.....	78
2.4.2	La RV nel processo di sviluppo di nuovi prodotti: applicazioni, benefici e limitazioni.....	82
2.4.3	Realtà Aumentata: requisiti funzionali e possibilità d'impiego nel ciclo di elaborazione di nuovi prodotti	85
2.4.4	Un esempio di attuazione della RV: l'azienda Dallara.....	89
2.5	L'avvento del <i>Building Information Modeling</i> nell'industria AEC.....	91
2.5.1	I vantaggi offerti dalla metodologia BIM.....	95
2.5.2	Rischi e ostacoli legati all'adozione del sistema BIM.....	99
Capitolo 3. Case Studies.....		105
3.1	Il Gruppo Selle Royal Spa.....	106
3.1.1	Il settore della bicicletta: evoluzione storica e principali caratteristiche.....	106
3.1.2	Storia e percorso di crescita del Gruppo.....	116
3.1.3	Brand e mercati di riferimento.....	119
3.1.4	La situazione economica aziendale.....	123

3.1.5	Analisi del processo di sviluppo di nuovi prodotti.....	125
3.1.6	Tecnologie a supporto delle fasi di progettazione e prototipazione	130
3.2	Protomaker Srl.....	133
3.2.1	L'azienda e il suo contesto operativo	133
3.2.2	Esame degli step di sviluppo e delle tecnologie impiegate.....	137
3.2.3	Destinatari dei servizi offerti dall'azienda.....	142
3.2.4	Vantaggi e limitazioni derivanti dall'utilizzo della stampa 3D.....	144
3.3	Considerazioni di sintesi	146
	Conclusioni	151
	Elenco tabelle.....	155
	Elenco figure.....	157
	Bibliografia	159
	Sitografia	163

Introduzione

Soddisfare i bisogni del consumatore d'oggi è un compito decisamente più impegnativo rispetto al passato. Il maggior grado di consapevolezza, informazione e interesse verso i temi dell'innovazione guidano le sue scelte d'acquisto; questi fattori, uniti alla richiesta di continuo incremento del livello di personalizzazione degli articoli, costringono le attuali realtà imprenditoriali a focalizzarsi sempre più nella realizzazione di prodotti originali e all'avanguardia.

L'adozione di tale atteggiamento si rivela fondamentale per la conquista e il consolidamento di un vantaggio competitivo nei confronti dei concorrenti, condizione necessaria per la sopravvivenza di qualsiasi impresa.

“È la capacità di innovare che distingue un leader da un epigono”.

Con queste semplici, ma incisive parole, Steve Jobs sottolinea come la costante ricerca ed elaborazione di nuove soluzioni attraverso lo svolgimento di efficaci ed efficienti processi di sviluppo, che appaghino le esigenze manifestate dalla clientela, costituiscano i passaggi chiave per il raggiungimento del successo aziendale e per il conseguente ottenimento di risultati positivi sotto il profilo economico.

L'incessante avanzamento tecnologico, che sta caratterizzando gli ultimi decenni di storia, assume un ruolo decisivo nel promuovere, favorire e agevolare l'esecuzione di queste attività, il cui compimento non può oramai più prescindere dall'impiego di determinati strumenti digitali.

Sistemi 3D CAD, stampa 3D, Realtà Virtuale, Realtà Aumentata e *Building Information Modeling* sono alcune recenti tecnologie che stanno rivoluzionando, e si presume lo faranno ancor di più in futuro, le modalità di effettuazione delle fasi di sviluppo, garantendo ai loro fruitori il conseguimento di considerevoli vantaggi sotto svariati punti di vista.

Lo scopo del presente elaborato è proprio quello di analizzare e valutare l'impatto e i notevoli benefici derivanti dall'introduzione di questi specifici sistemi durante lo svolgimento del processo di progettazione e prototipazione di nuovi articoli.

A tal fine, all'interno del primo capitolo verranno esaminati nel dettaglio i diversi step da seguire per il corretto espletamento dell'intero ciclo di elaborazione di un prodotto innovativo contraddistinto da un'elevata qualità. L'esatta attuazione di tutti questi passaggi risulta infatti il presupposto essenziale per la proficua implementazione delle

tecnologie sopra citate e per il raggiungimento degli obiettivi progettuali fissati dai manager dell'impresa.

Nel secondo capitolo si procederà allo studio dei requisiti tecnici e funzionali dei suddetti strumenti digitali, approfondendo in particolare le primarie conseguenze indotte a livello organizzativo dalla loro adozione, nonché i vantaggi, svantaggi, punti di forza e di debolezza a questi connessi. Per ciascuna tecnologia verranno inoltre prese in considerazione le diverse possibili applicazioni e le rispettive potenzialità di sviluppo che le riguardano direttamente. Sarà quindi presentata una panoramica generale, utile a comprendere le incredibili opportunità di crescita che tali sistemi sono in grado di offrire alle aziende che decidono di impiegarli stabilmente.

Nel terzo e ultimo capitolo verranno analizzate le caratteristiche distintive e i principali step del ciclo di sviluppo di un paio di realtà imprenditoriali attive in differenti contesti operativi che hanno tuttavia entrambe scelto di utilizzare due delle tecnologie oggetto di precedente trattazione per l'esecuzione dei propri processi di progettazione e prototipazione, ovvero i software di modellazione tridimensionale e la stampa 3D.

Tramite questi casi di studio si potrà osservare in modo tangibile il reale impatto esercitato da tali strumenti sull'organizzazione e sulle logiche di gestione e compimento delle fasi di sviluppo di un nuovo articolo, verificando concretamente i vantaggi assicurati dalla loro fruizione da parte di qualsivoglia impresa, sia essa di dimensioni elevate o una piccola o media compagine produttiva.

Capitolo 1. Le fasi del processo di sviluppo di nuovi prodotti e le relative tecniche a supporto

Per lanciare sul mercato un prodotto di successo, che soddisfi le esigenze del pubblico di riferimento, le imprese devono concentrare i propri sforzi nella pianificazione e nello svolgimento del processo di sviluppo, che prevede il compimento in sequenza di numerosi passaggi direttamente concatenati tra loro.

Alla sua esecuzione contribuiscono quasi tutte le funzioni aziendali, le quali collaborano scambiandosi importanti informazioni al fine di assicurare un'efficace elaborazione del prodotto. In particolare, assume un ruolo fondamentale il coordinamento tra le attività di marketing, progettazione e produzione poiché queste rappresentano le funzioni maggiormente impegnate nella ricerca, nell'individuazione e nella realizzazione di possibili soluzioni ai bisogni dei consumatori. In base alla rilevanza del progetto, è necessario formare un team di persone che si occupi a 360 gradi del suo sviluppo e che possieda al proprio interno competenze diversificate. Inoltre, le aziende possono avvalersi dell'utilizzo di molteplici tecniche e metodologie che costituiscono un indispensabile sostegno nel prendere adeguate decisioni, allo scopo di facilitare e rendere più efficiente lo svolgimento delle diverse fasi.

In questo capitolo verranno dunque esaminati, nel dettaglio, gli step che compongono il processo di sviluppo di un nuovo prodotto avviato in risposta alle necessità dei consumatori e i principali strumenti di supporto alla sua implementazione a disposizione dei membri del team (Figura 1). La descrizione delle metodologie verrà effettuata all'interno dei paragrafi relativi ai vari passaggi in cui queste manifestano maggiormente il loro contributo, nonostante garantiscano un importante apporto anche in altri momenti del processo.

Tabella 1. Fasi e sotto-fasi del processo di sviluppo di un nuovo prodotto e strumenti impiegati a supporto del loro svolgimento¹.

Fasi del processo	Sotto-fasi	Principali strumenti e tecniche a supporto
Pianificazione del prodotto	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificazione opportunità ➤ Selezione dei progetti ➤ Allocazione risorse e previsione <i>timing</i> ➤ Definizione obiettivi progetti 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Matrice <i>product-process change</i>
Sviluppo del concept	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Individuazione bisogni consumatori ➤ Definizione specifiche iniziali di prodotto ➤ Creazione del concept ➤ Selezione del concept ➤ Test del concept ➤ Definizione specifiche finali di prodotto 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Matrice esigenze-metriche ➤ <i>House of Quality</i> ➤ <i>Concept Classification Tree</i> ➤ <i>Concept Combination Table</i> ➤ Matrici di selezione
Progettazione di sistema	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Definizione architettura di prodotto ➤ Eventuale preliminare progettazione di alcune componenti 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diagrammi e grafici
Progettazione di dettaglio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Definizione finale della geometria di prodotto ➤ Definizione processo di produzione e assemblaggio ➤ Progettazione componenti 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Design for Environment</i> ➤ <i>Design for Manufacturing</i> ➤ <i>Design for Assembly</i> ➤ <i>Robust Design</i>
Prototipazione, test e lancio del prodotto	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pianificazione e realizzazione prototipi ➤ Test, valutazione prototipi e correzione difetti ➤ Avvio produzione 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tecnologie per la realizzazione dei prototipi

¹ Elaborazione personale su fonte: ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *Product Design and Development*, Fifth Edition, International Edition, 2012.

1.1 La pianificazione del prodotto

Una qualsiasi azienda, che fonda la propria strategia competitiva sull'innovazione di prodotto, dovrebbe cercare di impegnarsi fin dall'inizio nella ricerca delle potenziali opportunità offerte dal mercato. L'identificazione e l'analisi di tali possibili future condizioni favorevoli rappresentano le prerogative essenziali per l'avvio di un efficace processo di sviluppo e il primo passo di quella che viene definita la "fase zero" del processo stesso: l'attività di pianificazione del prodotto.

Questa fase preliminare consente all'azienda di esaminare i progetti che essa potrebbe intraprendere e di individuare quelli più promettenti sui quali impegnare le proprie risorse, nonché l'eventuale tempo previsto per una loro elaborazione. Tramite lo svolgimento di questa attività, viene garantita una coerenza di fondo tra la strategia aziendale e quei progetti che si stabilisce di perseguire e sviluppare.

La fase di pianificazione di prodotto può essere suddivisa in quattro step:

- Identificazione delle potenziali opportunità
- Selezione dei progetti da sviluppare
- Stima delle risorse da allocare e del *timing* di realizzazione
- Definizione degli obiettivi di ciascun progetto.

Come accennato in precedenza, il passo iniziale dell'attività di pianificazione riguarda l'individuazione delle potenziali opportunità. Un'opportunità può essere definita come un'idea per un nuovo prodotto, una possibile soluzione a un bisogno insoddisfatto. In questo momento l'impresa non dovrebbe recepire esclusivamente in modo passivo le occasioni che le si manifestano, ma dovrebbe cercare di avere un atteggiamento di tipo proattivo, tentando dunque di creare al suo interno le circostanze favorevoli per il riconoscimento e la creazione di nuove idee.

Un'indagine effettuata su un numero considerevole di aziende appartenenti a diversi settori ha messo in evidenza come circa la metà delle opportunità vengano generate internamente all'impresa, mentre la parte restante derivi da fonti esterne (ad esempio i clienti, la forza vendite, i distributori e i fornitori)². L'obiettivo di questo primo step è quello di concepire una grande quantità di opportunità che verranno successivamente

² TERWIESCH CHRISTIAN, ULRICH KARL T., *Innovation Tournament: Creating and Selecting Exceptional Opportunities*, Harvard Business Press, 2009.

valutate e selezionate e nel contempo eliminare tutte quelle che sicuramente non garantiranno nel futuro ritorni economici positivi.

Il modello denominato “imbuto dell’innovazione” costituisce un ottimo strumento per rappresentare il ciclo di vita delle nuove idee e il processo selettivo che le riguarda. Alcuni studi hanno dimostrato come solamente un’idea su circa tremila si trasformi in un prodotto di successo per l’impresa. Tutte le altre non riescono a raggiungere il medesimo esito; o perché non risultano realizzabili sotto il profilo strettamente tecnico, o perché non si dimostrano in grado di generare un adeguato rendimento economico. È per queste ragioni che il processo d’innovazione viene raffigurato come un imbuto nel quale entrano moltissime opportunità di sviluppo, ma pochissime riescono a raggiungere l’estremità opposta.

Un chiaro esempio di tale situazione è offerto dall’industria farmaceutica dove soltanto un’idea di un nuovo composto su oltre cinquemila arriva a essere commercializzata, mentre addirittura una su quindicimila permette all’impresa di recuperare i costi di ricerca e sviluppo³. Dunque, poiché le idee che sopravvivranno durante l’intero processo di sviluppo e che si riveleranno realmente profittevoli per l’azienda risultano essere molto ridotte, è di fondamentale importanza produrne il maggior numero possibile, anche di qualità variabile, utilizzando e ricercando le migliori e più affidabili fonti di creazione delle stesse. A tale scopo si possono individuare diverse modalità che permettono la nascita di nuove idee. Come già detto, un’impresa dovrebbe tentare di trarre il massimo profitto dal potenziale di novità offerto dai propri dipendenti e dalle persone che appartengono all’ambiente esterno a essa.

Il capitale umano di qualsiasi azienda presenta infatti peculiarità che, se adeguatamente sfruttate, possono rappresentare un’importante leva innovativa. Le capacità e le competenze uniche di queste risorse interne potrebbero anche essere ripensate e utilizzate in nuove categorie di prodotto, consentendo dunque la nascita di originali possibilità di sviluppo.

Risulta poi indispensabile studiare attentamente i consumatori e i loro bisogni latenti. Un atteggiamento rivolto all’approfondita analisi dei problemi e delle necessità che le persone incontrano durante le loro giornate consente di pensare a plausibili soluzioni. La ricerca delle esigenze insoddisfatte dei consumatori costituisce quindi uno dei

³ SCHILLING MELISSA A., IZZO FRANCESCO, *Gestione dell’innovazione*, Terza Edizione, McGraw-Hill, Milano, 2013, p. 13.

presupposti essenziali per l'identificazione di nuove opportunità.

Un'impresa, che punta alla diffusione al proprio interno di un forte spirito d'innovazione, non deve tuttavia dimenticarsi di valutare accuratamente anche gli input provenienti da fonti esterne. Tra queste assumono particolare rilevanza i cosiddetti *lead user*, ovvero coloro che anticipano di mesi, se non addirittura di anni, i bisogni dei consumatori, sviluppando spesso autonomamente le soluzioni necessarie a soddisfarli. Collaborare con tali soggetti può rivelarsi un'occasione unica per creare un prodotto all'avanguardia, anticipando le mosse dei concorrenti e godendo dunque di un considerevole vantaggio competitivo.

Un ulteriore contributo esterno può essere fornito dall'attività di natura scientifica svolta da università ed enti di ricerca. Queste istituzioni si impegnano costantemente in progetti di ricerca che conducono spesso alla generazione di nuove soluzioni, le quali, nella maggioranza dei casi, potrebbero essere convertite in interessanti applicazioni commerciali. A tal proposito diverse università hanno dato vita a strutture di trasferimento tecnologico al fine di favorire una più rapida introduzione nel mercato delle innovazioni ritenute maggiormente utili, attivando nel contempo strette relazioni di collaborazione con le imprese.

Un'altra fonte esterna di creazione di potenziali nuove opportunità è rappresentata dal Web e, in particolare, dai social networks. Tramite questi canali di informazione è possibile comprendere la natura dei cambiamenti di tipo economico, demografico e tecnologico che caratterizzano il contesto sociale, nonché raccogliere idee originali provenienti dalla comunità dei consumatori che, successivamente sviluppate, potrebbero rivelarsi valide e remunerative.

Una volta ricercato e individuato un numero consistente di opportunità (anche centinaia), il passo successivo prevede di eliminare tutte quelle che probabilmente non saranno in grado di garantire valore in futuro e che dunque non si dimostrano meritevoli di ulteriori approfondimenti. Per un'efficace realizzazione di tale passaggio è necessario avvalersi del giudizio competente e imparziale di un gruppo di persone, interne ed esterne all'impresa, che impieghino specifici criteri di scelta derivanti dalla loro esperienza in materia. I vari membri esprimono la propria opinione ad esempio tramite una votazione sulle diverse idee presentate; poi solamente quelle che ricevono il maggior numero di pareri positivi proseguono nel loro percorso di analisi.

È qui che inizia il secondo step della fase di pianificazione di prodotto, ovvero la selezione dei progetti da perseguire. A questo punto diventa fondamentale chiedersi se le opportunità rimaste potranno essere tramutate in prodotti che riusciranno a soddisfare le richieste di un determinato mercato, se sarà possibile guadagnare un vantaggio competitivo sulla concorrenza, inoltre se l'eventuale investimento garantirà adeguati ritorni economici (Approccio *Real-Win-Worth-it*).

I potenziali progetti da intraprendere possono distinguersi in due principali tipologie: quelli che riguardano nuove versioni di prodotto appartenenti a categorie già esistenti e quelli che si riferiscono a prodotti del tutto innovativi, destinati a mercati non ancora presidiati.

Nel primo caso è possibile effettuare un'efficace analisi e selezione tramite la valutazione di quattro differenti prospettive: la strategia competitiva aziendale, la segmentazione di mercato, le traiettorie tecnologiche e la piattaforma di prodotto. Un'azienda può scegliere di adottare diverse strategie per conquistare o mantenere una solida posizione all'interno del proprio contesto operativo. Ad esempio potrebbe decidere di concentrarsi stabilmente sulla ricerca di base e sullo sviluppo di nuove tecnologie o in alternativa sul raggiungimento di una leadership di costo basata sull'efficienza produttiva. Potrebbe inoltre puntare all'offerta di una grande varietà di articoli basata sulle diverse esigenze dei consumatori, oppure seguire i trend del settore magari imitando le mosse dei concorrenti. La scelta di quali opportunità continuare a perseguire deve pertanto essere coerente con il tipo di strategia attuata. Anche l'analisi dei vari segmenti di mercato, in cui l'impresa è attiva, può rivelarsi utile nel selezionare le idee che potrebbero garantire un miglioramento dell'offerta di prodotto aziendale o che potrebbero consentire lo sfruttamento delle debolezze di quelle dei competitor.

Per quanto concerne le traiettorie tecnologiche, è molto importante valutare attentamente il livello di maturità raggiunto da un prodotto. Il miglioramento della performance di una qualsiasi innovazione è infatti rappresentabile tramite una curva a "S". Nella sua fase di introduzione si riscontra un lento incremento delle prestazioni dovuto alla ancora non totale comprensione dei principi di base che la caratterizzano. Una volta acquisita la sua completa conoscenza, il rendimento aumenta rapidamente per poi rallentare nuovamente fino a quando non raggiunge il suo limite naturale di sviluppo. Nella selezione di un'opportunità è quindi rilevante, per quanto possibile,

analizzare il livello di evoluzione conseguito dall'innovazione di prodotto in questione. La quarta prospettiva da tenere in considerazione è quella della piattaforma di prodotto. Questa rappresenta l'architettura del prodotto: la struttura di base che governa le relazioni tra i vari elementi che lo compongono. Una piattaforma efficace consente di creare rapidamente molte versioni di uno stesso articolo, variando l'assemblaggio delle diverse componenti. In questo caso è necessario preventivamente decidere se si desidera mantenere la struttura di prodotto esistente, o se sia preferibile svilupparne una totalmente nuova, selezionando di conseguenza le opportunità che meglio si adattano a tale scelta.

Un'impresa non può tuttavia focalizzarsi esclusivamente su progetti diretti alla realizzazione di originali varianti di prodotto appartenenti a categorie già esistenti, ma deve anche cimentarsi nella ricerca e nell'analisi di quelle opportunità completamente nuove in termini tecnologici e di mercato, il cui sviluppo si rende necessario per rinnovare il portafoglio aziendale. A tal riguardo esistono degli utili indicatori che, se adeguatamente definiti e calcolati, possono facilitare il processo di valutazione delle varie idee. Tra questi rientrano, ad esempio, l'attuale quota di mercato e il suo previsto tasso di crescita, l'intensità competitiva, il grado di conoscenza tecnologica e dei mercati di riferimento e il livello di coerenza con le competenze dell'impresa.

Uno strumento di cui i manager possono servirsi per gestire e organizzare il portafoglio dei vari progetti di sviluppo è costituito dalla matrice *product-process change*, la quale consente di mappare i progetti stessi lungo due dimensioni. La prima esprime il grado di cambiamento che la loro realizzazione implicherebbe a livello di linea di prodotto aziendale. La seconda considera invece il grado di cambiamento che verrebbe generato a livello di ciclo produttivo. Un progetto potrebbe rappresentare una novità assoluta rispetto ai prodotti fino a quel momento commercializzati e comportare simultaneamente la trasformazione o, addirittura, la creazione di un processo produttivo totalmente nuovo. In questo caso si tratterebbe di un'innovazione di tipo radicale, contraddistinta da un rilevante impegno di risorse e da un elevato tasso di rischio. Un progetto potrebbe inoltre riguardare una versione successiva, oppure un prodotto aggiuntivo rispetto a una famiglia di articoli già esistente, che determinerebbe altresì un aggiornamento del sistema di produzione aziendale. In tale circostanza l'innovazione risulterebbe invece di tipo incrementale. La matrice in questione permette

di evidenziare eventuali squilibri all'interno del portafoglio progetti, mantenendo bilanciato il conseguente grado generale di rischio, e di verificarne e valutarne al contempo, la coerenza con la strategia competitiva perseguita dall'impresa. Ad esempio, il portafoglio di un'azienda, focalizzata al raggiungimento di una leadership di costo, dovrebbe contenere progetti finalizzati per lo più al miglioramento dell'efficienza produttiva. Al contrario, quello di un'impresa che persegue una strategia di leadership tecnologica dovrebbe includere un maggior numero di progetti altamente innovativi.

Il terzo stadio della pianificazione di prodotto è costituito dalla ripartizione delle risorse e dalla stima dei tempi di sviluppo. Poiché le risorse disponibili in azienda sono per definizione limitate, i vari progetti entrano inevitabilmente in competizione per la loro attribuzione e ciò richiede un'ulteriore selezione. In questa fase i manager devono eseguire un'accurata analisi per effettuare un'efficiente allocazione solamente nei confronti di quei progetti ritenuti maggiormente promettenti, scartando di conseguenza tutti gli altri. Senza un'adeguata pianificazione preventiva si corre il rischio di sprecare ingenti risorse assegnandole a progetti non vantaggiosi e di causare conseguenze indesiderate per quelli in corso di sviluppo, come l'allungamento dei relativi tempi di esecuzione e quindi di introduzione nel mercato e/o la diminuzione dei rendimenti economici.

Per i programmi di sviluppo ritenuti sufficientemente meritevoli, è comunque fondamentale prevedere il loro futuro sfruttamento di risorse allo scopo di valutare fin da subito se essi richiederanno uno sforzo troppo elevato per il loro svolgimento. Tale processo di stima va svolto a più riprese, anche durante le varie fasi successive, per cogliere l'insorgere di eventuali cambiamenti e per verificare l'effettiva disponibilità delle risorse necessarie per farvi fronte.

La principale risorsa, che un'azienda deve saper gestire, è lo staff di sviluppo. Le capacità e le competenze del capitale umano risultano infatti essenziali per la realizzazione di qualsiasi programma e per tale motivo vanno ripartite con grande attenzione.

Per quanto riguarda la previsione relativa alle tempistiche di elaborazione dei progetti, è importante prendere in considerazione diversi aspetti che ne influenzano direttamente la definizione. Ad esempio, il lancio tempestivo sul mercato di un prodotto da parte di un'impresa, può rappresentare per essa un grande vantaggio competitivo. Tuttavia, se tale articolo non risulta agli occhi del consumatore di adeguata qualità, perché non

ancora completamente sviluppato, c'è il rischio che la reputazione aziendale ne venga sensibilmente compromessa con pesanti ripercussioni anche di carattere economico. Questo fattore unito ad altri, come l'accettazione da parte dei consumatori di rapide e frequenti nuove versioni di prodotto, oppure la disponibilità immediata di affidabili tecnologie necessarie alla loro progettazione, gioca un ruolo fondamentale nelle decisioni aziendali riguardanti la stima del *timing* dei progetti.

Una volta conclusa questa fase, l'impresa dispone del cosiddetto *piano di prodotto*, ovvero la serie di tutti i progetti (riguardanti i prodotti altamente innovativi, le nuove varianti, le nuove piattaforme, ecc...), selezionati, approvati e suddivisi nell'arco temporale di riferimento.

L'ultimo step consiste nella dettagliata definizione scritta delle finalità di ogni progetto. In tale dichiarazione vengono riportate le assunzioni di base che guideranno l'operato del team di sviluppo, compresa la sua composizione e, in particolare, la descrizione generale delle principali funzioni che dovrà svolgere l'articolo, le ipotesi relative ai previsti benefici per il consumatore, gli obiettivi di costo, tempo, qualità, i presumibili mercati da raggiungere, l'elenco di tutte le persone esterne all'impresa coinvolte nella realizzazione del progetto, nonché le opportunità di tipo economico stimate per l'azienda⁴.

1.2 Lo sviluppo del concept

Il risultato finale della "fase zero" di pianificazione del prodotto è rappresentato dalla semplice descrizione formale degli obiettivi e dei vincoli definiti per ogni singolo progetto di sviluppo, ciascuno dei quali riferito direttamente a una potenziale opportunità di mercato. Come detto, tale dichiarazione racchiude le indicazioni generali di massima dei vari progetti, ma non precisa nel dettaglio le caratteristiche tecniche degli articoli e le modalità per procedere a una loro possibile elaborazione.

Il secondo stadio del processo è costituito dalla fase di sviluppo del concept durante la quale vengono identificati nello specifico i bisogni dei consumatori obiettivo e vengono generate, valutate e infine selezionate per ulteriori approfondimenti e test, diverse alternative di concept di prodotto.

⁴ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 56 e ss.

Perché un prodotto possa definirsi di successo, è necessario che offra determinati benefici per i clienti, soddisfacendone le relative necessità. È pertanto fondamentale creare un canale di interazione tra il team e i soggetti appartenenti al mercato di riferimento al fine di comprenderne le esigenze e ridurre al contempo il rischio collegato allo sviluppo del progetto.

A tal proposito, il primo passo da compiere consiste nel predisporre gli opportuni strumenti per raccogliere il maggior numero possibile di informazioni da un gruppo prestabilito di consumatori. I metodi più comunemente impiegati dalle imprese sono le interviste, i *focus group* e l'osservazione diretta del comportamento dei clienti nelle molteplici situazioni di utilizzo di prodotti già esistenti in cui si possono venire a trovare. L'intervista viene considerata il mezzo di raccolta dati più efficiente poiché consente di identificare una grande quantità di bisogni latenti a costi ridotti. Per potersi avvalere di tali vantaggi, è tuttavia necessario definire correttamente il numero e la tipologia di consumatori ai quali rivolgere le varie domande. Ad esempio, riuscire a intercettare e ottenere informazioni dai *lead user* o dai cosiddetti *extreme user*⁵ può comportare importanti benefici dal punto di vista competitivo. In generale, a prescindere dal tipo di strumento impiegato, l'approccio utilizzato per la raccolta delle informazioni non dovrebbe orientarsi al forzato convincimento dell'individuo riguardo alle proprie necessità, ma dovrebbe bensì permettere a quest'ultimo di esprimere liberamente quali sono le esigenze che sente di percepire.

Una volta ottenuta un'adeguata quantità di dati grezzi, è necessario analizzarli e interpretarli allo scopo di definire chiaramente e in modo mirato, le diverse richieste e opinioni manifestate. Il risultato finale è dunque costituito da una lista contenente le specifiche dichiarazioni di bisogno dei clienti, che è tuttavia indispensabile organizzare e suddividere gerarchicamente a seconda del loro grado di similitudine e dettaglio.

L'ultimo step del processo di identificazione delle necessità dei consumatori consiste nell'attribuire a esse un valore in termini di importanza. Per effettuare tale assegnazione ci si può basare sulla valutazione competente dei membri del team di sviluppo, oppure sulla somministrazione di un sondaggio al mercato obiettivo. Il secondo approccio presuppone uno sforzo superiore in termini di costi e tempi, ma risulta allo stesso tempo maggiormente efficace e affidabile. In tal caso, per ragioni pratiche, viene selezionato un

⁵ Gli *extreme user* sono i consumatori che utilizzano i prodotti in modo alternativo e inusuale o che presentano delle esigenze molto particolari, diverse da quelle percepite dal resto del mercato.

determinato gruppo di bisogni e viene quindi domandato agli intervistati di giudicarne l'importanza secondo il loro personale punto di vista. È inoltre possibile selezionare più insiemi di esigenze, richiedendo un parere per ognuno di questi a diversi gruppi di consumatori⁶.

1.2.1 Definizione delle specifiche di prodotto

Una volta individuati i bisogni percepiti dal mercato di riferimento, è necessario che il team di sviluppo definisca le cosiddette specifiche di prodotto, stabilendo quindi, tramite l'utilizzo di precisi valori e unità di misura, quali caratteristiche tecniche esso debba avere per soddisfare le esigenze riscontrate. Tale step dovrebbe essere eseguito in un momento antecedente alle fasi di generazione e selezione dei diversi concept. È questo il caso dei prodotti i quali, durante il loro percorso di sviluppo, richiedono l'impiego di tecnologie mature che non presentano particolari limitazioni al loro utilizzo. Per i prodotti caratterizzati invece da un elevato grado di incertezza riguardo la loro realizzazione dal punto di vista tecnico si rende necessario rideterminarne le relative specifiche, anche in un secondo istante, immediatamente successivo alla selezione e al test del concept. Durante il processo si è quindi spesso costretti a effettuare continui trade-off tra i vari attributi, anche in ragione dei preventivati costi di produzione. In questa circostanza i requisiti, definiti inizialmente, rappresentano le speranze e le aspettative del team, ma non tengono in considerazione i vincoli tecnologici ed economici che si manifesteranno nelle fasi seguenti e che deriveranno direttamente dalla scelta del concept. Per tale motivo risulta dunque fondamentale rivedere e adattare le specifiche iniziali alle mutate condizioni intercorse.

In questo sotto-paragrafo si concentrerà l'attenzione esclusivamente sulla determinazione delle caratteristiche iniziali di prodotto, mentre per quel che riguarda la loro finale esplicitazione, a seguito della selezione e del test del concept, si rimanda a quelli successivi.

Il primo passo per la definizione di queste specifiche iniziali è rappresentato dalla predisposizione di un elenco di metriche, le quali devono riflettere il più precisamente possibile il grado con cui il prodotto riesce ad appagare le necessità espresse dai consumatori. L'obiettivo è quello di associare a ogni esigenza individuata un

⁶ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 76 e ss.

corrispondente attributo di prodotto, che risulti misurabile e garantisca la soddisfazione del bisogno in questione. Talvolta è possibile che si renda necessario l'accostamento di più metriche a uno stesso bisogno. Per costruire un adeguato ed esaustivo set di metriche, è opportuno seguire alcune importanti istruzioni. Le principali linee guida stabiliscono che ciascuna metrica dovrebbe riferirsi a ogni singola necessità identificata e risultare facilmente osservabile e misurabile in modo tale che l'elenco si riveli completo e funzionale. È pertanto essenziale assegnare a ognuna di esse, ove possibile, l'unità di misura che le esprima con maggior chiarezza e il loro relativo tasso di importanza, direttamente connesso al grado di rilevanza della corrispettiva esigenza da appagare.

Il secondo step da compiere durante la fase di determinazione delle specifiche di prodotto è rappresentato dalla raccolta di informazioni concernenti le offerte dei concorrenti attivi nel contesto di riferimento. Poiché la definizione di questi attributi è correlata alle scelte di posizionamento sul mercato, l'ottenimento dei dati riguardanti i competitor costituisce un passaggio fondamentale per la realizzazione di un prodotto di successo, nonostante richieda considerevoli investimenti in termini di tempo e denaro. Una volta raccolte tali informazioni, risulta utile assegnare dei valori, relativi a ciascuna metrica identificata in precedenza, a ogni prodotto individuato come possibile benchmark, al fine di permettere una corretta valutazione delle offerte della concorrenza.

Il processo di determinazione delle specifiche si conclude con il fissare due tipologie di valori obiettivo per ognuna delle diverse metriche considerate. In particolare, il team di sviluppo deve stabilire per le singole metriche un valore ideale, che rappresenti il miglior risultato potenzialmente raggiungibile e un valore minimo accettabile, che consenta a mala pena l'introduzione dell'articolo sul mercato. Tali target, che possono esprimere il limite massimo o minimo oppure un valore preciso o intermedio per le varie metriche in oggetto, rappresentano le specifiche iniziali di prodotto sulle quali si baserà la generazione di diversi concept. Nella loro definizione, il team deve sicuramente tenere in grande considerazione la varietà di dati raccolti sulle offerte dei competitor e le loro potenziali mosse future, senza trascurare al contempo i generali obiettivi del processo di sviluppo stabiliti durante la fase di pianificazione. Come detto precedentemente, tali specifiche saranno infine riviste una volta selezionato e testato tra

i consumatori il concept di prodotto nel tentativo di risolvere i molteplici trade-off che verranno a manifestarsi durante il prosieguo del processo⁷.

Uno strumento frequentemente impiegato per cogliere ed evidenziare le relazioni tra i bisogni dei consumatori e le metriche selezionate è rappresentato dalla matrice esigenze-metriche. Tutte le necessità dei clienti individuate vengono elencate nelle righe della matrice, mentre in ogni sua colonna si riportano le metriche identificate. Per rappresentarne il diretto collegamento, viene posto al loro incrocio un contrassegno, che sta a indicare come la performance relativa a ciascun attributo, condizioni direttamente il grado di soddisfazione della corrispondente esigenza. Questa tabella costituisce un'importante componente di un'altra matrice, la cosiddetta "*House of Quality*" per la quale sono qui di seguito illustrati brevemente i passaggi necessari alla sua elaborazione.

Dopo aver individuato i bisogni e gli attributi di prodotto, la "casa della qualità" permette di definire in un unico grafico il relativo livello di importanza per ciascuna necessità e, per i diversi attributi tecnici, il grado di connessione che li riguarda. Una volta completata tale operazione viene determinata l'intensità delle relazioni che legano tali elementi e la complessiva rilevanza di ogni caratteristica tecnica. Vengono quindi esaminate le varie offerte dei concorrenti per verificare il grado con cui esse riescono a soddisfare le richieste dei consumatori. Su queste basi sono successivamente stabiliti dei valori obiettivo per ciascun requisito di prodotto da raggiungere in fase di progettazione. Una volta concluso il processo di sviluppo, viene valutato il rispetto di questi target, confrontandoli con i risultati conseguiti dai diversi competitor. La matrice "*House of Quality*" riesce dunque a porre in evidenza gli svantaggi di tipo competitivo che contraddistinguono l'offerta aziendale, consentendo al contempo di identificare le azioni da compiere per poterli superare. Garantisce inoltre un sensibile miglioramento del coordinamento tra le varie funzioni con conseguenti risvolti positivi in termini di efficacia ed efficienza del ciclo di sviluppo del prodotto⁸.

⁷ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 95 e ss.

⁸ SCHILLING MELISSA A., IZZO FRANCESCO, *cit.*, p. 515.

1.2.2 Creazione del concept

L'attività di creazione del concept prende avvio una volta conclusa la fase di definizione delle varie specifiche e ha l'obiettivo di generare un adeguato numero di ipotesi di prodotto che verranno successivamente sottoposte a un processo di selezione. Con il termine "concept" si intende la generica descrizione della forma e dei principi di funzionamento del prodotto, nonché della tecnologia su cui risulta basato. Esso esprime le modalità con cui il prodotto soddisferà le esigenze dei consumatori e può essere rappresentato anche tramite disegni o semplici modelli 3D. Questo step, sebbene non richieda particolari sforzi dal punto di vista economico e possa essere eseguito in tempi relativamente brevi, necessita di un'elevata attenzione e accuratezza durante il suo svolgimento. È infatti fondamentale creare e valutare fin da subito il maggior numero possibile di potenziali alternative di prodotto per evitare di individuarne altre di più promettenti quando ormai sono stati effettuati ingenti investimenti di risorse.

L'iter che conduce alla generazione del concept può essere suddiviso in diversi passaggi. Il presupposto essenziale per poter cominciare tale attività poggia sul fatto che ciascun membro del team di sviluppo abbia maturato una chiara e completa conoscenza di tutte le informazioni e i risultati desunti dalle precedenti fasi del processo.

Solamente una volta raggiunta questa condizione è possibile procedere con il primo step della creazione del concept, che prevede di scomporre i vari problemi connessi alla progettazione dell'articolo in sotto-problemi più specifici al fine di semplificarne la risoluzione. Un utile espediente per realizzare al meglio la divisione è quello di effettuare una scomposizione delle principali funzioni del prodotto per evidenziare nel dettaglio il ruolo svolto dai singoli elementi che lo andranno a costituire. È necessario proseguire nella suddivisione in sotto-funzioni fino al momento in cui esse risultano abbastanza semplici da poter essere analizzate efficacemente. Per illustrare le relazioni e le dirette interconnessioni che legano tutte queste parti, il team di sviluppo può effettuare una loro rappresentazione tramite un diagramma senza prendere tuttavia ancora in considerazione i principi tecnologici che regolano il funzionamento del prodotto. La scomposizione per funzioni è solamente una delle possibili metodologie attuabili e utilizzabili per il frazionamento dei molteplici problemi di progettazione. Altre modalità possono riflettere la sequenza delle azioni svolte dal consumatore durante l'utilizzo dell'articolo, oppure le specifiche esigenze da lui manifestate. A

conclusione di tale fase, il team stabilisce una gerarchia di importanza tra i vari sottoproblemi ravvisati, focalizzando le proprie attenzioni su quelli che risultano maggiormente rilevanti per il futuro successo del prodotto e rinviando a un momento successivo l'esame dei rimanenti.

Il secondo passaggio dell'attività di generazione del concept è costituito dalla ricerca di possibili soluzioni ai problemi identificati durante lo step precedente. Prima di tutto è fondamentale esaminare l'ambiente esterno all'impresa allo scopo di individuare eventuali soluzioni già esistenti che possono essere efficacemente impiegate e adattate, consentendo un sensibile risparmio di tempo e denaro. Queste informazioni possono inoltre essere combinate tra loro o messe assieme con soluzioni totalmente nuove in modo da comportare un considerevole miglioramento delle performance di sviluppo. Anche in tal caso è possibile ricavare dati utili intervistando i lead user, i quali possono aver trovato risposta ai propri bisogni inventando qualche particolare espediente o consultando degli esperti in materia oppure effettuando una ricerca tra i vari brevetti disponibili. Per trovare e valutare le soluzioni esistenti, è essenziale studiare e analizzare accuratamente i prodotti già presenti sul mercato e con caratteristiche funzionali simili a quelle dell'articolo oggetto di elaborazione.

La vera e propria fonte di soluzioni innovative è tuttavia rappresentata dalle conoscenze e dalla creatività delle persone appartenenti al team di sviluppo. Ogni impresa dovrebbe incentivare il più possibile il dialogo e la collaborazione tra i membri del team tramite l'organizzazione di frequenti sessioni di gruppo senza tuttavia dimenticarsi di garantire a ogni individuo il tempo necessario per potersi dedicare in autonomia al progetto in questione. Alcuni studi hanno infatti evidenziato come i soggetti, che lavorano individualmente alla generazione di nuovi concept di prodotto, raggiungano nello stesso arco temporale di riferimento risultati superiori rispetto all'opposta alternativa che li vedrebbe invece impegnati nello svolgimento di attività di gruppo. Nella pratica, però, quasi tutte le aziende si affidano prevalentemente all'organizzazione di tali riunioni poiché consentono alle persone di focalizzare maggiormente le proprie attenzioni sullo sviluppo del prodotto. Gli incontri risultano funzionali nel trasmettere informazioni, discutere e rifinire i concept ideati, nonché per creare consenso attorno ad essi. Per semplificare e rendere più efficiente il processo di generazione di nuove risposte ai problemi riscontrati, interno al team, è utile seguire precise linee guida. È innanzitutto necessario non esprimere giudizi affrettati nei confronti delle varie porzioni di concept

ideate per la risoluzione dei sotto-problemi precedentemente identificati. Una decisione presa con troppa rapidità, senza essere stata adeguatamente esaminata, può comportare infatti pesanti ripercussioni future. Risulta quindi fondamentale sospendere ogni critica o valutazione fino al momento in cui non sia stato generato un adeguato numero di potenziali soluzioni. Anche le idee, che possono sembrare non realizzabili a un primo impatto, devono essere accolte e analizzate accuratamente, perché potrebbero essere modificate e migliorate dagli altri membri del team, dando vita a soluzioni impensabili, ma allo stesso tempo altrettanto valide. È pertanto essenziale stimolare la creazione del maggior numero possibile di idee per aumentare le probabilità che alcune di queste risultino particolarmente innovative. L'ultimo suggerimento prevede infine di accompagnare a ogni soluzione concepita una sua rappresentazione grafica o in 3D, per consentire agli altri membri del team di avere una completa comprensione delle relazioni fisiche e spaziali che le caratterizzano. Il risultato finale di questo secondo step è dunque costituito da una serie di parziali soluzioni a vari sotto-problemi che devono tuttavia essere organizzate in un quadro più ampio.

È in questo momento che ha inizio la terza fase del processo di generazione del concept, che prevede di combinare tra loro le diverse porzioni di concept originate per ogni sotto-problema allo scopo di esplorare il vastissimo spazio delle possibilità offerto dalle loro potenziali connessioni. Ovviamente non è pensabile mettere in relazione tutte le soluzioni individuate, poiché il numero dei collegamenti risulterebbe elevatissimo. È inoltre essenziale riuscire a riconoscere rapidamente ed eliminare fin dall'inizio tutti quegli accostamenti irrealizzabili e privi di senso. Per conseguire tali fini e per ridurre la complessità legata alla gestione delle numerose combinazioni, il team di sviluppo può servirsi di due particolari strumenti: il *Concept Classification Tree* e la *Concept Combination Table*⁹.

Il *Concept Classification Tree* è un semplice grafico ad albero tramite il quale le varie soluzioni identificate vengono suddivise all'interno di differenti categorie riferentesi a ciascun sotto-problema oggetto di analisi. Il grafico viene rappresentato a partire da un punto centrale corrispondente al sotto-problema in questione dal quale hanno origine i rami dell'albero, che costituiscono invece tutte le diverse alternative individuate per risolverlo. Come detto, questo diagramma potrebbe essere realizzato per ognuno dei

⁹ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 120 e ss.

sotto-problemi riscontrati, ma nella pratica viene utilizzato prevalentemente per illustrare e valutare, nello specifico, quelle soluzioni che potrebbero sensibilmente vincolare le possibili risposte agli altri problemi. L'impiego di tale grafico garantisce il conseguimento di importanti vantaggi. Innanzitutto, una volta eseguita la sua rappresentazione, è possibile "potare" quei rami che, dopo un'accurata analisi, non risultano abbastanza promettenti, consentendo nel contempo al team di sviluppo di concentrarsi con maggiore riguardo sull'esame delle restanti diramazioni. Un secondo beneficio è ravvisabile nell'eventuale ripartizione degli sforzi del team tra due o più differenti approcci diretti alla risoluzione del problema nel caso in cui questi si dimostrino allo stesso modo meritevoli di ulteriori studi e approfondimenti. Attraverso la suddivisione in gruppi di lavoro si può infatti focalizzare maggiormente l'attenzione delle persone e ridurre l'elevata complessità che caratterizza il processo di generazione del concept. Un ultimo vantaggio è costituito dal possibile perfezionamento della scomposizione in funzioni o in sotto-funzioni del generale problema di progettazione effettuata in precedenza. Può infatti capitare che, durante l'analisi di una particolare soluzione, emergano nuove informazioni che possono indurre il team a valutare un ulteriore frazionamento del problema individuato a monte. In conclusione, tale metodo permette di semplificare notevolmente il processo di confronto tra le varie alternative identificate e di eliminare tutte quelle soluzioni considerate marginali o poco valide.

Il secondo strumento frequentemente impiegato dalle imprese per facilitare l'attività di creazione del concept è costituito dalla *Concept Combination Table*. Essa viene rappresentata tramite una tabella alle cui colonne corrispondono i vari sotto-problemi ravvisati e, all'interno delle quali, vengono elencate le alternative riscontrate per risolverli. Queste ultime sono prima collegate tra loro (come esemplificato e illustrato in Tabella 2), per poi essere raffigurate, nella loro combinazione finale, tramite un disegno. L'obiettivo di tale grafico è quello di combinare le varie soluzioni appartenenti a ciascuna colonna per giungere così alla completa risoluzione di quei sotto-problemi che si rivelano essere direttamente in relazione tra loro o del generale problema di progettazione. Ovviamente, vista la grande quantità di potenziali combinazioni che potrebbe venirsi a generare, è fondamentale anche in questo caso, tentare di ridurre il più possibile il numero, eliminando tutte quelle che si dimostrano irrealizzabili sotto il profilo tecnico. Sempre a tal fine, il team di sviluppo, durante la compilazione della tabella, dovrebbe evitare di inserire quei sotto-problemi la cui risoluzione risulta

indipendente da quella di tutti gli altri. Maggiore è il numero di colonne, minore è infatti l'efficacia dello strumento in questione. Poiché le diverse combinazioni che vengono a formarsi costituiscono delle semplici associazioni di più alternative, è necessario che esse siano riviste e perfezionate dai membri del team. La *Concept Combination Table* rappresenta dunque uno dei presupposti essenziali per stimolare la creatività delle persone verso la ricerca del giusto equilibrio tra i vari accostamenti di soluzioni.

Tabella 2. Esempio di Concept Combination Table. Combinazione di alcune possibili soluzioni relative ai vari sotto-problemi identificati¹⁰.

SOTTO-PROBLEMA 1	SOTTO-PROBLEMA 2	SOTTO-PROBLEMA 3	SOTTO-PROBLEMA 4
SOLUZIONE 1	SOLUZIONE 1	SOLUZIONE 1	SOLUZIONE 1
SOLUZIONE 2	SOLUZIONE 2	SOLUZIONE 2	SOLUZIONE 2
SOLUZIONE 3		SOLUZIONE 3	SOLUZIONE 3
		SOLUZIONE 4	

1.2.3 Selezione del concept

Una volta generato un adeguato set di concept di prodotto, la fase successiva prevede di valutarli uno a uno, confrontandone i rispettivi punti di forza e debolezza al fine di selezionare quelli che si dimostrano maggiormente promettenti e che verranno dunque ulteriormente approfonditi e sviluppati. Nonostante tale step risulti essere iterativo con continue rivisitazioni e miglioramenti riguardanti i vari concept oggetto di analisi, è in questa fase che il loro numero viene significativamente ridotto. Tramite costanti combinazioni e perfezionamenti, l'elenco viene gradualmente ristretto fino al momento in cui è possibile effettuare la selezione finale di un concept. Un'impresa può servirsi di vari metodi per operare tale tipo di scelta. Ad esempio potrebbe richiedere ai consumatori o ad altri soggetti esterni (anche attraverso dei sondaggi online) di esprimere un parere riguardo ad alcune descrizioni relative alle differenti alternative. Potrebbe inoltre prendere una decisione sulla base dei pro e dei contro di ciascun concept generato tramite una votazione svolta all'interno del team di sviluppo, oppure

¹⁰ Elaborazione personale su fonte: ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 135.

affidarsi semplicemente alla scelta di un suo membro particolarmente esperto. Infine un'azienda potrebbe ricorrere alla realizzazione e al test di diversi prototipi effettuando una selezione dopo aver esaminato i dati da questi derivanti.

Durante lo svolgimento di questa fase, è di fondamentale importanza che il processo diretto alla selezione del concept venga strutturato nel migliore dei modi, ciò allo scopo di garantire la necessaria obiettività della scelta e di diminuire il conseguente e collegato rischio di insuccesso del prodotto. Un approccio ben organizzato può assicurare una maggiore corrispondenza tra il concept selezionato e le esigenze manifestate dai consumatori, una più intensa ed efficace collaborazione e comunicazione con le altre funzioni aziendali, nonché un minore tempo di introduzione sul mercato di un prodotto competitivo.

Perché tale processo di valutazione e determinazione del concept migliori i risultati ben strutturato, si rivela utile suddividerlo in due passaggi definiti rispettivamente "*concept screening*" e "*concept scoring*", che prevedono entrambi l'impiego di matrici decisionali per la loro esecuzione.

Il primo step ha l'obiettivo di ridurre il numero di alternative oggetto di considerazione attraverso una rapida analisi. Il secondo, tramite un esame più approfondito, punta invece alla scelta finale, tra i vari concept rimasti, di quello che potenzialmente potrebbe tramutarsi in un prodotto di successo. Durante il loro svolgimento, è possibile che vengano a formarsi dei nuovi concept grazie alla combinazione tra le caratteristiche delle diverse soluzioni. Entrambe queste fasi, che verranno di seguito descritte nel dettaglio, si sviluppano in cinque passi:

- Preparazione della matrice decisionale
- Valutazione dei concept
- Classificazione dei concept
- Combinazione e perfezionamento dei concept
- Selezione del/i concept

Lo step di *concept screening*, come già sopra specificato, viene eseguito allo scopo di restringere velocemente il set delle varie alternative individuate. Il primo passo da realizzare consiste nella preparazione della matrice di selezione (raffigurata, in tutti i suoi passaggi, in Tabella 3). Al suo interno vengono inseriti, in corrispondenza delle colonne, i concept generati durante la fase precedente e, in corrispondenza delle righe,

alcuni prestabiliti criteri di scelta. Nel caso in cui i concept ideati risultino in numero troppo elevato, è possibile effettuare una loro selezione tramite una votazione tra i membri del team. Essi possono inoltre essere accompagnati da una breve descrizione o da una rappresentazione grafica al fine di permetterne un più significativo e imparziale confronto. Per quanto riguarda invece i criteri di scelta, questi si devono determinare non solo sulla base delle esigenze manifestate dai consumatori e identificate durante gli stadi iniziali del processo di sviluppo, ma anche con riferimento alle necessità che riguardano l'azienda, quali, ad esempio, i bassi costi di produzione o la rapida introduzione del prodotto sul mercato. La loro predisposizione si pone l'obiettivo di creare una differenziazione tra i vari concept e deve per questo essere redatta con particolare attenzione evitando di includere parametri privi di importanza, considerato l'uguale peso assegnato, all'interno della matrice, a ognuno di essi. Una volta definiti e inseriti i concept e i criteri di scelta, il team deve selezionare un concept di riferimento, che diventerà il *benchmark* per la valutazione di tutte le altre alternative. Tale *benchmark* è solitamente costituito da un prodotto già disponibile sul mercato, o da un concept ben conosciuto dai membri del team, oppure da uno qualsiasi dei diversi concept oggetto di confronto.

Il secondo passaggio del *concept screening* è rappresentato dalla valutazione delle varie alternative. Ogni concept viene giudicato migliore (+1), uguale (0), peggiore (-1), rispetto a quello selezionato come riferimento, relativamente a ciascun criterio di scelta. Questi valori vengono assegnati tramite l'utilizzo di misure oggettive, se disponibili, o altrimenti attraverso una decisione condivisa dai membri del team.

Durante il terzo step, il team effettua poi la somma dei punteggi ottenuti da ciascun concept, stilando una sorta di classifica sulla base del totale da essi conseguito. Dopo aver ordinato le alternative in esame, può essere avviata la quarta fase del processo durante la quale si verifica la possibilità di modificare o combinare tra loro quelle che presentano dei potenziali margini di miglioramento. Una volta abbinate, è necessario inserire il concept risultante all'interno della matrice, valutarlo nuovamente e infine riclassificarlo.

L'ultimo passaggio dell'attività di *concept screening* prevede di selezionare quei concept che si sono rivelati maggiormente promettenti, definendo quali dei loro aspetti dovranno essere oggetto di ulteriore analisi nel corso della fase successiva.

Tabella 3. Esempio di matrice relativa al processo di *concept screening*¹¹.

Concept Criteri	Concept A	Concept B	Concept C (Benchmark)	Concept D	Concept E	Concept F
Facilità d'uso	+1	-1	0	0	+1	0
Sicurezza nell'utilizzo	0	-1	0	1	+1	0
Facilità di fabbricazione	0	+1	0	0	-1	0
Durabilità	-1	0	0	0	0	0
Maneggevolezza	+1	-1	0	-1	0	-1
Estetica	0	0	0	-1	+1	+1
Punteggio netto	+1	-2	0	-1	+2	0
Graduatoria	2°	5°	3°	4°	1°	3°
Continuare analisi?	SI	NO	COMBINARE	NO	SI	COMBINARE

È in questo momento che ha inizio lo step definito *concept scoring*, il quale conduce alla scelta finale del concept da sviluppare. Le alternative sopravvissute alla fase antecedente, vengono ora sottoposte a una più specifica valutazione per evidenziare chiaramente le differenze che le contraddistinguono. Anche in tal caso, il primo stadio del processo è costituito dalla preparazione della matrice decisionale (la cui completa rappresentazione è illustrata in Tabella 4). I concept inseriti al suo interno corrispondono a quelli selezionati per gli ulteriori approfondimenti, mentre i criteri di scelta coincidono con quelli utilizzati nella matrice costruita in precedenza con la possibile aggiunta di qualche particolare parametro. A ognuno di questi ultimi, viene successivamente assegnato un valore in termini percentuali per determinarne la relativa importanza. È infine necessario individuare un concept che assumerà il ruolo di *benchmark*.

Il secondo passaggio prevede di valutare le alternative rimaste con riferimento a ciascun criterio di selezione. In tale circostanza è essenziale esprimere un giudizio preciso allo scopo di differenziare chiaramente tra loro i diversi concept. Risulta perciò fondamentale impiegare una scala di valutazione più specifica, composta perlomeno da

¹¹ Elaborazione personale su fonte: ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 150.

cinque valori per consentire al team di attribuire un punteggio reale e attendibile per tutti i parametri.

Una volta conclusa tale operazione, si può dare avvio al terzo step durante il quale i membri del team eseguono la moltiplicazione tra i vari punteggi assegnati e i pesi relativi al corrispettivo grado di importanza di ciascun criterio. Sulla base della somma di questi valori, calcolata con riferimento a ogni concept, è dunque possibile stilare una loro graduatoria.

Nella quarta fase, così come già rilevato anche per l'attività di *screening*, viene presa in considerazione l'eventualità di apportare delle migliorie o combinare tra loro le diverse alternative in esame.

Dopo il compimento di tutti i passaggi sopra citati, il team di sviluppo può finalmente procedere alla selezione definitiva del/i concept, che costituisce il quinto e ultimo step del processo di *scoring*.

Tabella 4. Esempio di matrice relativa al processo di *concept scoring*¹².

		Concept A (Benchmark)		Concept C + F		Concept E	
Criteria di scelta	Importanza %	Valutazione	Punteggio pesato	Valutazione	Punteggio pesato	Valutazione	Punteggio pesato
Facilità d'uso	25%	3	0,75	3	0,75	3	0,75
Sicurezza nell'utilizzo	15%	3	0,45	4	0,60	4	0,60
Facilità di fabbricazione	15%	3	0,45	4	0,60	2	0,30
Durabilità	10%	3	0,30	3	0,30	4	0,40
Maneggevolezza	10%	3	0,30	2	0,20	1	0,10
Estetica	25%	3	0,75	5	1,25	5	1,25
Punteggio totale		3,00		3,70		3,40	
Graduatoria		3°		1°		2°	
Procedere nello sviluppo?		NO		SI		SI	

Nonostante possa sembrare logico, non è tuttavia corretto scegliere prontamente le alternative che presentano il maggior punteggio totale almeno fino a quando non sia stata svolta un'analisi di sensitività. Tramite questo strumento, il team modifica infatti arbitrariamente i pesi assegnati ai parametri e i valori attribuiti a ogni concept, per

¹² Elaborazione personale su fonte: ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 154.

assodare come queste variazioni influenzino la graduatoria redatta. Tale verifica permette quindi di determinare l'impatto prodotto dall'incertezza che caratterizza il processo di valutazione delle varie alternative sulla scelta finale. A seguito di questa indagine è possibile che i membri del team preferiscano scegliere un concept posizionato più in basso in classifica, contraddistinto però da un minor livello di incertezza. Nel caso in cui l'analisi confermi i valori espressi dalla graduatoria, viene effettuata la selezione almeno dei primi due concept, i quali verranno successivamente sottoposti a un'ulteriore fase di sviluppo che prevedrà la costruzione di prototipi e lo svolgimento dei test ad essi relativi.

È fondamentale che il processo di selezione del concept sia eseguito con la massima accuratezza, poiché esso costituisce un "punto di non ritorno" per l'azienda. Un errore commesso qui può comportare infatti pesanti future ripercussioni in termini economici.

1.2.4 Test del concept

Una volta effettuata la scelta dei concept ritenuti maggiormente promettenti, il processo di sviluppo può proseguire con l'avvio della fase successiva che prevede il loro test presso il pubblico di consumatori. Il team procede alla stesura di una descrizione per ognuno dei concept di prodotto rimasti, per poi sottoporle al giudizio del mercato di riferimento. Gli obiettivi di tale step sono molteplici; innanzitutto esso consente di ridurre ulteriormente il numero di alternative in considerazione e di selezionare, sulla base dei responsi ricevuti, quella che verrà in seguito perseguita. Questo passaggio permette inoltre di raccogliere importanti informazioni riguardo ai possibili miglioramenti apportabili ai vari concept e di eseguire una stima parziale di quelle che potrebbero essere le future vendite del prodotto. Alle descrizioni in forma scritta del concept, il team di sviluppo affianca spesso alcune sue rappresentazioni che possono essere costituite anche da semplici prototipi allo scopo di porre il consumatore nelle migliori condizioni possibili per poter esprimere un'opinione oggettiva e veritiera. Il primo passo da compiere, dopo avere stabilito chiaramente le finalità del test, consiste nel definire e scegliere con esattezza il pubblico oggetto d'indagine. Per evitare di compromettere i risultati del sondaggio, questo deve riferirsi direttamente al target di clientela che l'azienda si è prefissata di raggiungere con la futura introduzione del prodotto sul mercato. Al fine di verificare l'appartenenza del rispondente al target obiettivo, il team di sviluppo è solito inserire specifici quesiti, orientati al suo

riconoscimento. È inoltre fondamentale determinare con precisione l'ampiezza del campione da analizzare, la quale deve garantire un'adeguata attendibilità dei dati ottenuti.

Dopo aver risolto tali questioni, è necessario decidere quale format di sondaggio impiegare. Tra le varie soluzioni è possibile optare per un'intervista "faccia a faccia" o telefonica, per l'invio di un questionario tramite posta cartacea o elettronica, oppure per la creazione di una piattaforma online attraverso la quale sottoporre le domande alla comunità di consumatori. L'utilizzo di ognuno di questi mezzi presenta particolari vantaggi e svantaggi che possono essere attenuati o acuiti dalla natura del test, dalla tipologia del concept in esame e dal segmento di mercato target. Ad esempio, le interviste effettuate di persona risultano il metodo più efficace nel momento in cui il team necessita di ricevere dei consigli su come migliorare le caratteristiche di un concept, oppure quando ha bisogno di richiedere una valutazione riguardante più di un'alternativa. Più specifico diventa lo scopo della fase di test, più si rende invece opportuno l'impiego di strumenti maggiormente strutturati, quali la posta o l'intervista telefonica.

Un'altra scelta da intraprendere, direttamente collegata a quella relativa al format del sondaggio, riguarda le modalità di comunicazione del concept. Come anticipato, il team redige comunemente una breve descrizione delle caratteristiche principali delle varie alternative, che può però decidere di esplicitare anche attraverso altri mezzi. A queste brevi descrizioni è infatti possibile abbinare disegni, foto, immagini o video che illustrino la sequenza di azioni da compiere durante la fruizione del prodotto. Si possono inoltre realizzare sistemi multimediali interattivi per consentire al consumatore di ricevere informazioni audio-visive e di simulare il funzionamento dell'articolo. Infine, il team può costruire modelli fisici o semplici prototipi, correndo tuttavia il rischio che il consumatore li valuti negativamente nel caso in cui essi dimostrino un aspetto inadeguato o un rendimento di molto inferiore a quello che il prodotto raggiungerà al termine del processo di sviluppo. Nella descrizione del concept è fondamentale comunicare le informazioni utili a un giudizio oggettivo, non amplificando o decantando eccessivamente i potenziali benefici derivanti dal suo utilizzo, al fine di non compromettere la veridicità dei risultati dell'indagine.

Una volta sottoposto il sondaggio al segmento target e raccolte le valutazioni da questo espresse, il team deve misurare e interpretare i dati ottenuti. Qualora una delle

alternative oggetto di analisi abbia ricevuto pareri decisamente più positivi rispetto alle altre, la scelta del concept su cui continuare a concentrare gli sforzi futuri risulta abbastanza scontata. Al contrario, se è l'incertezza a dominare le preferenze dei consumatori, si rende necessario prendere in considerazione altri fattori, come ad esempio i costi di produzione, oppure decidere di sviluppare più di una variante di prodotto. Assume grande rilevanza, soprattutto in quest'ultima circostanza, riuscire a stimare la futura domanda riguardante ciascun concept, relativa al momento successivo a un loro eventuale lancio sul mercato con la consapevolezza, però, che tali previsioni potrebbero poi essere smentite. Vari aspetti, tra i quali il passaparola, il prezzo finale e il livello di promozione del prodotto creato dall'impresa, possono infatti portare al mutamento delle prospettive attese¹³.

Una volta concluso il percorso che porta alla scelta e al test del concept, è necessario rivedere le specifiche di prodotto stabilite nelle fasi precedenti del processo di sviluppo rappresentanti le speranze e le aspettative del team per apportarvi ulteriori accorgimenti e definirle con maggior precisione. In tale situazione è necessario risolvere i rimanenti trade-off che solitamente riguardano il rapporto tra le caratteristiche tecniche e i costi associati alla loro realizzazione, tenendo conto dei limiti dal punto di vista tecnologico che caratterizzano il contesto in cui opera l'azienda. A questo scopo è innanzitutto essenziale stimare quali potrebbero essere le spese che si andranno a sostenere durante la futura produzione dell'articolo, comparandole poi al costo obiettivo, ovvero quel valore che, se confrontato con i previsti ricavi, garantisce il conseguimento di un adeguato profitto. Stilare un elenco delle probabili componenti che andranno a formare il prodotto e tentare di valutarne il costo, può risultare a tal riguardo, un buon espediente. È inoltre fondamentale riuscire a evidenziare e prevedere, ad esempio tramite l'impiego di particolari modelli, le performance dei diversi elementi che costituiscono l'oggetto, evitando così, anche di stabilire delle specifiche non attuabili nella pratica. Dopo aver effettuato questo tipo di operazioni è dunque possibile risolvere i trade-off rilevati e definire le specifiche finali. I risultati ottenuti vengono discussi al fine di trovare una soluzione in termini di requisiti di prodotto, che garantisca il miglior equilibrio raggiungibile tra i diversi fattori in questione fra i quali spiccano per

¹³ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 167 e ss.

importanza le esigenze dei consumatori, l'ambiente competitivo e i rendimenti economici.

1.3 La progettazione a livello di sistema

Dopo aver portato a termine le varie fasi relative allo sviluppo del concept, il team può dedicarsi allo svolgimento dello step successivo, che consiste nella progettazione a livello di sistema. In questo stadio si procede alla definizione dell'architettura di prodotto e di tutti gli elementi che lo costituiscono, nonché alla loro preliminare progettazione. L'obiettivo è quello di realizzare una configurazione del prodotto dal punto di vista geometrico, identificandone i diversi sottosistemi che lo compongono e le relative funzioni, fornendo al contempo importanti informazioni riferite all'attività legata al loro assemblaggio.

Di seguito verranno analizzati nel dettaglio, tutti i passaggi cruciali della fase di progettazione di sistema.

Il principale passo da compiere per la sua esecuzione è rappresentato dalla determinazione dell'architettura di prodotto. Ogni articolo è formato da numerose parti fisiche ciascuna delle quali svolge una particolare funzione per garantire il raggiungimento di una prestazione complessiva ottimale. Queste componenti sono organizzate e suddivise in vari blocchi, i quali si interfacciano tra loro per consentire il generale funzionamento dell'oggetto.

Con l'espressione "architettura di prodotto" si vuole dunque indicare lo schema che rappresenta la struttura e la disposizione fisica dei diversi elementi all'interno dei rispettivi blocchi (o sottosistemi), nonché le relative regole che governano la loro interazione. Esistono due possibili tipologie di architetture di prodotto, opposte tra loro: quella integrale e quella modulare. Nella prima, le relazioni tra ogni blocco sono definite in modo approssimativo e le loro componenti eseguono un elevato numero di funzioni diverse tra loro. Ciò comporta che, nel caso si renda necessario ricorrere a qualche modifica anche a uno solo degli elementi, si sarà costretti a ridisegnare completamente il sottosistema di cui questo fa parte, o addirittura l'intero prodotto.

Nel caso dell'architettura modulare, invece, ogni blocco è composto da una o pochissime parti, il che permette a ciascuno di essi di svolgere esclusivamente una funzione e di interagire con gli altri in modo chiaro e diretto. In questa circostanza è possibile

cambiare le caratteristiche di un singolo elemento o sottosistema senza dover apportare modifiche a quelli rimanenti, mantenendo quindi inalterata la struttura generale dell'articolo. Con il termine "modulare" si vuole dunque indicare il livello di scomponibilità e di ricombinazione delle varie componenti che fanno parte del sistema. Tramite questo approccio è infatti possibile creare un'ampia gamma di configurazioni e varianti di prodotto semplicemente combinando i diversi elementi in molteplici versioni. Ciò può indubbiamente comportare alcuni vantaggi dal punto di vista dell'efficienza produttiva con conseguenti risvolti positivi sotto il profilo economico, appagando al contempo le esigenze di un pubblico maggiormente eterogeneo¹⁴. È quindi fondamentale tenere in considerazione, durante tale fase di sviluppo, se il mercato di riferimento presenta preferenze molto diversificate che, con tale tipologia di architettura, possono essere più facilmente soddisfatte. Un altro beneficio derivante dall'impiego di una struttura modulare è costituito dal fatto di poter concentrare gli sforzi del team sulla progettazione delle componenti che sono direttamente legate alle competenze chiave dell'impresa con la possibilità di esternalizzare, tramite ad esempio accordi o alleanze con altre aziende, quelle meno in linea con le proprie capacità.

Un prodotto difficilmente è caratterizzato da un'architettura completamente integrale o modulare, ma può presentare un maggiore o minore grado di modularità. Più elevato si rivela essere tale livello, più semplice risulta la gestione del processo di sviluppo.

Una prima determinazione dell'architettura di prodotto, seppure molto approssimativa, avviene durante la fase di sviluppo del concept, quando vengono realizzate le sue prime rappresentazioni grafiche. Tuttavia, nel caso di articoli che costituiscono innovazioni di tipo incrementale, la determinazione della loro struttura di base viene effettuata quasi completamente all'interno di tale step, poiché la configurazione delle varie componenti, i principi di funzionamento e le interazioni che le riguardano, sono state stabilite in precedenza durante i processi di sviluppo relativi ai prodotti già sul mercato. Al contrario, qualora il nuovo concept rappresenti un'innovazione radicale, la definizione della sua architettura viene elaborata nella fase di progettazione di sistema. Un'impresa deve valutare nello specifico numerosi fattori al fine di prendere un'adeguata decisione riguardante l'organizzazione dei diversi elementi all'interno dei rispettivi blocchi e di identificare il corretto grado di modularità da adottare.

¹⁴ SCHILLING MELISSA A., IZZO FRANCESCO, *cit.*, p. 427.

Come evidenziato in precedenza, il team deve tenere in grande considerazione gli eventuali adattamenti e miglioramenti che potrebbero interessare il prodotto una volta introdotto sul mercato e il livello di varietà e personalizzazione richiesto dai consumatori. Più elevata risulta l'importanza di tali condizioni, più modulare dovrebbe essere la struttura da impiegare. Un altro aspetto da esaminare attentamente riguarda il grado di standardizzazione dei vari elementi o dei sottosistemi. Minore è il numero dei componenti che formano i diversi blocchi (sinonimo di alta modularità), maggiore è la possibilità di utilizzarli in altri prodotti, con la diretta conseguenza di ridurre drasticamente i costi di produzione. Un ulteriore fattore da tenere presente è costituito dalle prestazioni che il prodotto deve garantire in termini di espletamento delle proprie funzioni. Un'architettura di tipo integrale può risultare preferibile in quelle categorie di articoli dove assumono una considerevole importanza attributi di performance quali la velocità (ad esempio nel caso di un veicolo) oppure la durata, il consumo, le dimensioni, l'estetica, ecc... . Una struttura di base di questo genere può inoltre consentire una diminuzione delle componenti e quindi del correlato volume del prodotto, nonché comportare un risparmio sul costo relativo ai materiali utilizzati in fase di produzione. È infine rilevante prendere in considerazione le conseguenze che si verranno a generare sotto il profilo del coordinamento richiesto ai gruppi di persone impegnati nella successiva progettazione dei vari blocchi. Un'architettura integrale necessita infatti di frequenti interazioni e dibattiti per risolvere i differenti problemi venuti alla luce, mentre una struttura modulare è più semplice da sviluppare e presuppone dunque un livello inferiore di collaborazione.

Una volta completata l'analisi di tali aspetti, il team può procedere con il processo di definizione dell'architettura di prodotto, che condurrà alla determinazione della configurazione geometrica dell'articolo e all'individuazione dei sottosistemi che lo andranno a comporre e delle relazioni tra questi intercorrenti.

Il primo step consiste nell'elencare e collocare all'interno di un diagramma le principali e primarie componenti fisiche e funzionali del prodotto. Questo grafico rappresenta quindi uno schema generale in cui i vari elementi sono disposti nello spazio, ciascuno all'interno di un proprio quadrato e connessi tra loro in base ai legami che li caratterizzano.

Il secondo passaggio prevede poi di specificare i blocchi del prodotto e assegnare a ognuno di essi le diverse componenti illustrate nel diagramma, rivedendo, se necessario,

le relazioni stabilite nella fase precedente. Dato l'elevato numero di alternative possibili, è fondamentale per prima cosa associare ciascuna componente al corrispondente sottosistema e poi ponderare, qualora possa risultare vantaggioso, un eventuale spostamento e raggruppamento di alcune di esse al fine di ridurre la complessità che caratterizza il processo. Per valutare tale convenienza, è utile verificare la necessità che i vari elementi siano posizionati geograficamente vicini tra loro, la fattibilità di realizzarli con le medesime procedure e tecnologie, oppure la possibilità di poterli standardizzare nel loro insieme, impiegandoli dunque in differenti prodotti. Nel caso il team preveda invece che una particolare componente subirà alcuni cambiamenti, è importante che essa venga isolata e assegnata in solitaria al proprio blocco, evitando così di dover rettificare l'intero sottosistema e le sue eventuali parti nel momento in cui si renderà indispensabile apportare la modifica in questione.

Dopo aver completato il processo di attribuzione dei diversi elementi ai rispettivi blocchi, si può proseguire con la rappresentazione grafica della loro configurazione geometrica. L'obiettivo di tale step è quello di definire la disposizione fisica dei vari sottosistemi e di determinare le interfacce che ne regoleranno le interazioni, verificando al contempo la loro fattibilità tecnica. Il team procede dunque alla creazione e all'analisi di più raffigurazioni alternative, selezionando quella che risulta la migliore. Può accadere che ci si renda conto di dover riassegnare alcune componenti a differenti blocchi al fine di facilitare o rendere geometricamente possibile la costruzione di una particolare configurazione.

Come già detto, i vari sottosistemi interagiscono tra loro sia per consentire la realizzazione della generale funzione del prodotto (interazioni fondamentali), sia in ragione della loro collocazione fisica (interazioni incidentali). Le relazioni che li legano ne influenzano pesantemente la progettazione, che viene solitamente eseguita da diversi gruppi di persone e per la cui esecuzione si rende necessaria una stretta attività di collaborazione.

Il quarto passaggio prevede pertanto che il team di sviluppo espliciti chiaramente le interazioni che risultano conosciute al fine di facilitare lo scambio di informazioni tra i vari gruppi. Quelle "fondamentali" è possibile ricavarle dallo schema generato a seguito della prima e seconda fase, mentre quelle di tipo "incidentale", come potrebbe ad esempio essere un'interferenza indotta in una componente dalla vibrazione di un'altra ad essa vicina, si devono illustrare in un grafico a parte. Per quei blocchi oggetto di molte

interconnessioni è quindi essenziale saper organizzare e gestire una rigorosa attività di coordinamento tra i diversi gruppi di progettazione.

Una volta terminati gli step sopra esplicitati, la cui effettuazione ha portato alla generale definizione dell'architettura del prodotto, è necessario rifinirne i dettagli, determinando le componenti funzionali e fisiche secondarie non considerate durante la prima fase del processo, nonché le relazioni che le riguardano. Tale attività si rivela tuttavia più semplice da compiere rispetto a quelle precedenti e può essere eseguita da uno specifico gruppo di persone ad essa esclusivamente dedicato.

È inoltre possibile che qualche sottosistema, individuato durante il secondo step, si riveli particolarmente complesso, comprendendo al suo interno un elevato numero di elementi. In questo caso può risultare indispensabile precisare la sua architettura di base, seguendo gli stessi passaggi che hanno condotto all'identificazione della struttura del prodotto¹⁵.

Con la conclusione di queste ultime procedure, l'impresa ha una chiara idea dell'insieme di elementi che andranno a formare il prodotto e che ne garantiranno l'espletamento della funzione complessiva. Il team di sviluppo può a questo punto concentrarsi a 360 gradi sull'elaborazione e sulla specifica progettazione dei vari sottosistemi e delle componenti.

1.4 La progettazione di dettaglio

Una volta determinata l'architettura di prodotto e le interazioni che regolano gli elementi che la compongono, può prendere avvio la fase di progettazione di dettaglio. In questo step il team di sviluppo procede alla definitiva identificazione e descrizione della geometria e dei materiali di cui sarà costituito l'oggetto, valutando, al contempo, con particolare attenzione i connessi costi di produzione. È inoltre essenziale individuare quelle componenti che verranno acquistate da fornitori esterni, definire il processo di fabbricazione e assemblaggio dell'articolo, nonché specificare e altresì progettare, se necessario, gli strumenti per la sua realizzazione. Risulta infine fondamentale esaminare nel dettaglio le varie parti del prodotto per poter garantirne il pieno funzionamento, anche nel caso si vengano a verificare impreviste condizioni di contesto che ne possano influenzare le prestazioni.

¹⁵ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 187 e ss.

Una metodologia frequentemente impiegata dalle aziende per aumentare la qualità dell'articolo finale e per diminuire allo stesso tempo i costi legati al consumo di materiali ed energia, direttamente legati al suo ciclo di vita, è rappresentato dal *Design for Environment*. Il suo scopo primario è quello di tentare di ridurre sensibilmente l'impatto ambientale derivante dallo svolgersi di tutte le fasi riguardanti l'intera vita del prodotto, dalla sua progettazione fino al suo smaltimento. Per raggiungere tale intento, il team deve innanzitutto porsi obiettivi sostenibili, cercando poi di stimare, durante gli stadi iniziali di sviluppo, le potenziali conseguenze da quest'ultimo generabili sotto il profilo ambientale. In un secondo momento, nel corso del processo di elaborazione, il team può quindi proseguire nel suo intento stabilendo stringenti linee guida da seguire al fine di prendere adeguate decisioni riguardo la tipologia di materiali da impiegare e la successiva produzione dell'articolo. Una volta completato lo step di progettazione, deve essere poi effettuata un'ulteriore e aggiornata valutazione degli impatti ambientali relativi al bene sviluppato, comparando questi risultati con i propositi deliberati inizialmente. Sulla base di tale confronto, è dunque possibile apportare le necessarie modifiche al prodotto al fine di limitarne i conseguenti effetti negativi.

La possibilità da parte di un'impresa di progettare e realizzare un articolo sostenibile deve essere valutata accuratamente, poiché può comportare considerevoli vantaggi competitivi. In particolare, oltre ai benefici in termini di costi e qualità evidenziati precedentemente, un approccio rispettoso dell'ambiente può migliorare l'immagine aziendale, portare alla scoperta di nuove soluzioni innovative e consentire un più profondo soddisfacimento delle esigenze del consumatore. Tutti questi fattori testimoniano come un'attenta e scrupolosa analisi degli aspetti connessi alla sostenibilità ambientale, eseguita in fase di progettazione del prodotto, possa condurre alla creazione di un articolo dalle prestazioni superiori rispetto a quelli della concorrenza.

I prossimi sotto-capitoli prenderanno in considerazione le altre principali metodologie frequentemente impiegate durante lo step di progettazione di dettaglio: il *Design for Manufacturing*, il *Design for Assembly* e il *Robust Design (Design for Experiments)*. Questi strumenti risultano molto importanti per l'attuazione dei vari passaggi che caratterizzano la fase oggetto di esame e permettono dunque, se opportunamente combinati tra loro, il raggiungimento degli obiettivi sopra esplicitati.

1.4.1 Design for Manufacturing e Design for Assembly

La metodologia, denominata “*Design for Manufacturing*”, assume un ruolo fondamentale durante lo svolgimento del processo di progettazione di sistema e di dettaglio in quanto garantisce il tempestivo trasferimento delle informazioni riguardanti le esigenze produttive alle funzioni impegnate nello sviluppo del prodotto. L'utilizzo di tale tecnica consente un rilevante risparmio in termini di tempo e denaro, nonché un evidente incremento della relativa qualità del prodotto, richiedendo altresì una stretta collaborazione tra le diverse aree aziendali¹⁶. È proprio questo l'obiettivo del DFM¹⁷: mantenere elevato il livello qualitativo dell'articolo che si sta progettando, diminuendo al contempo, i costi legati alla sua elaborazione e alla sua futura realizzazione. Le spese di produzione rappresentano, infatti, uno degli aspetti da tenere in maggiore considerazione, visto il loro ragguardevole impatto sui rendimenti economici dell'impresa. Nonostante questa metodologia dimostri la sua massima utilità nel corso degli step relativi alla progettazione di sistema e di dettaglio, essa si svolge comunque anche in tutte le altre fasi, poiché i costi di produzione sono oggetto di continue analisi e valutazioni durante l'intero ciclo di sviluppo.

Per un efficace impiego del DFM il team dovrebbe eseguire, in sequenza, alcuni essenziali passaggi. Il primo passo da compiere prevede di stimare le future spese complessive di produzione del prodotto in fase di progettazione. I costi che devono essere presi in esame riguardano l'acquisto delle materie prime e di alcune componenti dai fornitori esterni, la loro lavorazione, il loro assemblaggio, gli oneri relativi al consumo energetico, all'acquisizione e alla manutenzione delle attrezzature e, infine, quelli connessi allo smaltimento degli scarti. In via generale i costi di produzione si possono suddividere in fissi e variabili o, in alternativa, all'interno di tre categorie: i costi delle componenti, che si riferiscono all'acquisto o alla realizzazione e lavorazione interna dei diversi elementi; le spese di assemblaggio, relative al costo del lavoro e degli strumenti impiegati per il montaggio; gli oneri generali, che racchiudono i costi di supporto alla produzione e quelli aziendali indiretti. Questi ultimi (aziendali indiretti) riguardano le spese che consentono all'impresa di operare, ma che tuttavia non è possibile imputare specificamente alla progettazione o alla realizzazione di un

¹⁶ SCHILLING MELISSA A., IZZO FRANCESCO, *cit.*, p. 515 e ss.

¹⁷ Abbreviazione di *Design for Manufacturing*.

determinato articolo. Per tale motivo questa tipologia di oneri non va tenuta in considerazione nell'impiego del DFM. Constatata l'assoluta importanza delle informazioni raccolte durante il processo di stima dei costi, è fondamentale organizzare e strutturare opportunamente questi dati. Un possibile espediente utilizzato spesso dalle imprese a tale scopo prevede di inserire, all'interno della distinta base, ovvero l'elenco contenente i diversi elementi che andranno a formare il prodotto finale, le spese di produzione, suddivise in fisse e variabili, attinenti a ciascuna componente.

Come accennato in precedenza, la prima categoria di costi è rappresentata da quelli riferiti alle varie parti che costituiscono il prodotto, le quali si possono acquistare esternamente o costruire in azienda. Per quegli elementi definiti "standard", che non hanno cioè particolari caratteri di unicità, la previsione dei costi a essi relativi può avvenire in due modalità: attraverso la loro comparazione con le spese sostenute per comprare o realizzare internamente componenti analoghe, oppure tramite la richiesta di preventivi ai fornitori, esplicitando le quantità da acquisire. Per quanto concerne invece le parti definite "personalizzate", che vengono progettate specificamente per il prodotto in questione, è necessario valutare il costo connesso all'acquisto delle materie prime, anch'esso stimato in base alla loro quantità, nonché le spese riguardanti le persone impiegate nella lavorazione di tali materiali e le attrezzature utilizzate. Con riferimento alla categoria delle spese di assemblaggio, la previsione degli oneri è basata sulla somma dei tempi stimati per lo svolgimento di tale attività, moltiplicata per il costo del lavoro, a cui vanno aggiunte le spese legate all'uso degli strumenti di montaggio.

Per quanto riguarda infine i costi generali di supporto alla produzione, la loro valutazione comporta non poche problematiche, viste le difficoltà nel ricondurli a una particolare linea di prodotto. A tal fine solitamente le imprese possono determinare e prevedere l'imputazione di questa tipologia di spese servendosi dei cosiddetti *cost driver*, ovvero dei particolari parametri rappresentativi dell'attività produttiva (come ad esempio il numero di ore di utilizzazione di un macchinario per la realizzazione di un prodotto), sulla base dei quali è possibile effettuare un'accettabile allocazione. Tuttavia, poiché tale procedimento non sempre consente di eseguire una corretta attribuzione, alcune imprese hanno deciso di implementare un metodo alternativo, definito "ABC", il quale permette di catturare la complessità legata alla fabbricazione dell'articolo, definendo molteplici *cost driver* e assegnando i vari oneri generali a quelli che meglio li

rappresentano, sulla base dei quali, è poi possibile compiere una più accurata allocazione e stima.

Una volta terminato il processo di previsione delle spese di produzione, si può dare avvio al secondo step della metodologia DFM, il cui obiettivo è quello di ridurre il più possibile i costi calcolati in riferimento alle componenti del prodotto. Capita spesso che la realizzazione di un elemento risulti molto onerosa a causa della mancata comprensione e conoscenza da parte di chi lavora alla progettazione dell'articolo, dei vincoli riguardanti la fase di produzione e dei fattori che li determinano. In alcuni di questi casi è possibile procedere alla riprogettazione di alcune componenti, permettendo così la semplificazione delle attività da svolgere nel corso del ciclo produttivo e diminuendone al contempo i relativi costi, senza alterare le caratteristiche funzionali e le complessive prestazioni dei vari elementi. Tuttavia ciò può accadere solo se avviene un costante scambio di informazioni dove vengono esplicitate tutte le potenziali problematiche relative alla fabbricazione del prodotto tra la funzione addetta alla produzione delle parti e quella impegnata alla loro elaborazione. Ridisegnare le componenti per facilitare lo svolgimento del processo produttivo e per diminuirne i costi, può successivamente portare a un incremento dei volumi realizzati e a una crescita del livello di esperienza aziendale in campo progettuale. Tali fattori possono a loro volta favorire la standardizzazione di alcuni elementi e il raggiungimento di importanti economie di scala con evidenti ripercussioni positive non solo sotto il profilo economico, ma anche dal punto di vista qualitativo e delle performance¹⁸.

Il terzo step della metodologia DFM è orientato alla riduzione dei costi relativi all'assemblaggio delle diverse parti, per il cui conseguimento può risultare utile impiegare un'altra particolare tecnica definita "*Design for Assembly*". L'analisi tempestiva dei vincoli e delle previste spese e tempistiche riguardanti l'attività di assemblaggio, effettuata durante la fase di progettazione di sistema e di dettaglio, può portare il team di sviluppo a rivedere alcune caratteristiche del prodotto. Come già evidenziato in precedenza, tali modifiche possono, a loro volta, condurre a una semplificazione del prodotto stesso con un conseguente miglioramento dell'efficienza del processo di montaggio e una generale diminuzione degli oneri ad esso associati. La quantità totale di componenti, la facilità e il numero di operazioni che riguardano la loro manipolazione e

¹⁸ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 256 e ss.

il loro inserimento e fissaggio rappresentano quegli aspetti che maggiormente impattano sui costi di assemblaggio.

I contributi alla letteratura relativi al DFA¹⁹ si sono rivelati molteplici a partire dalla metà degli anni ottanta, ma i veri pionieri di tale metodologia sono stati Geoffrey Boothroyd e Peter Dewhurst. I due professori universitari hanno definito i principi basilari da seguire nel corso della progettazione per tentare di diminuire la complessità riguardante l'attività di assemblaggio. Le primarie linee guida stabiliscono di ridurre il numero e la varietà delle parti che formano il prodotto, nonché di progettarle in modo tale che, durante il montaggio, si allineino automaticamente senza possibilità di installarle erroneamente o il bisogno di riposizionarle e riorientarle²⁰. I due esperti hanno inoltre sviluppato un indice di efficienza di assemblaggio, il quale pone a rapporto il tempo teorico minimo di assemblaggio con il tempo previsto per l'assemblaggio del prodotto oggetto di analisi. Il numeratore è ricavabile dalla moltiplicazione tra il numero minimo teorico di parti di cui potrebbe essere composto il prodotto e il tempo minimo teorico per manipolare ciascuna componente (stabilito a priori in tre secondi). Il calcolo di tale indice consente di valutare il potenziale accorpamento di quegli elementi che non è strettamente necessario tenere separati. L'integrazione di più parti può permettere il conseguimento di importanti benefici. Innanzitutto la loro realizzazione fisica risulta meno onerosa rispetto alla fabbricazione di più componenti. Inoltre viene di molto facilitato il compito degli addetti alla fase di montaggio, poiché essi eseguono una quantità inferiore di operazioni. Tuttavia, come evidenziato anche nei capitoli precedenti, l'integrazione di più elementi non si rivela sempre la scelta migliore. È dunque fondamentale valutare con attenzione anche tutti gli altri fattori che possono influenzare la futura realizzazione del prodotto.

Il quarto passaggio da compiere è rappresentato dal tentativo di diminuire i costi generali di supporto alla produzione che risultano condivisi dalle diverse linee di prodotto. Tra questi rientrano, ad esempio, le spese relative alla movimentazione dei materiali, al controllo della qualità, alla manutenzione delle attrezzature, ecc... . Anche in questo caso un possibile espediente per ridurre tali costi prevede di minimizzare la complessità legata alla varietà che caratterizza il generale processo di trasformazione

¹⁹ Abbreviazione di *Design for Assembly*.

²⁰ TSAI-C. KUO, SAMUEL H. HUANG, HONG-C. ZHANG, *Design for manufacture and design for "X": concepts, applications and perspectives*, Computers & Industrial Engineering, Pergamon, 2001.

delle materie prime nel prodotto finale. La complessiva gestione di un elevato numero di fornitori, componenti, lavoratori e processi impatta infatti pesantemente sui conti aziendali. Questi oneri derivano in maniera diretta dalle decisioni prese in fase di progettazione, che possono dunque essere riviste per agevolare tale gestione e per migliorare i conseguenti risultati economici.

La generale semplificazione, indotta sul ciclo produttivo dalle scelte e dalle azioni correttive effettuate nel corso della progettazione, consente infine una drastica limitazione degli errori commessi durante lo svolgimento delle attività di realizzazione e assemblaggio del prodotto.

L'ultimo step della metodologia in questione prevede di valutare l'impatto esercitato dalle decisioni prese nelle diverse fasi sino ad ora esaminate, sulle tempistiche e sui costi di sviluppo del prodotto, nonché sul suo livello qualitativo. Tali fattori assumono un ruolo essenziale per il successo dell'impresa e non vanno dunque sacrificati per minimizzare gli oneri relativi al processo produttivo. È dunque necessario considerarli attentamente e, nel caso risultino compromessi, rivedere le disposizioni stabilite durante la progettazione per tentare di trovare il giusto equilibrio²¹.

1.4.2 *Robust Design*

Un prodotto, che svolge appieno le proprie funzioni anche sotto l'effetto di particolari fattori di disturbo, può essere definito "robusto". Se il verificarsi di condizioni di contesto non ideali o di variazioni impreviste incontrollabili non ne influenzano negativamente le prestazioni, esso può dunque essere considerato qualitativamente adeguato. Durante l'attività di *Robust Design*, il team di sviluppo concentra i propri sforzi nel tentare di ridurre il più possibile l'impatto generato da tali elementi di disturbo sulla performance complessiva del prodotto. Conduce altresì specifici esperimenti e analisi al fine di individuare la giusta combinazione dei valori riferiti ai vari parametri di progettazione che risulti controllabile e consenta all'articolo di espletare al meglio le proprie funzioni, non risentendo dell'influenza delle numerose situazioni disturbative. Le prestazioni obiettivo si possono infatti raggiungere combinando tra loro, in diversi modi, i valori dei suddetti parametri, ma solamente alcuni di questi accostamenti si rivelano meno soggetti all'effetto di variazioni impreviste. Lo scopo di tale processo è

²¹ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 268 e ss.

quindi quello di ricercare e selezionare l'alternativa meno condizionabile. L'attività di *Robust Design* è basata sulla metodologia denominata "*Design for Experiments*", il cui obiettivo è quello di effettuare esperimenti sulle molteplici possibili combinazioni di parametri. Questo step dovrebbe essere intrapreso il prima possibile nel corso del ciclo di sviluppo, per garantire un più elevato livello di complessiva robustezza. Tuttavia è nella fase di progettazione di dettaglio che esso assicura i maggiori vantaggi, poiché è in tale momento che vengono determinate le definitive caratteristiche riguardanti il funzionamento, le dimensioni, i materiali e la solidità del prodotto finale.

Anche il processo di *Robust Design* si può suddividere in vari passaggi che saranno qui di seguito chiariti. Il primo step prevede di determinare: i fattori di controllo, che rappresentano quei parametri di progettazione per i quali è possibile modificare i loro valori in maniera controllata nel corso degli esperimenti allo scopo di valutare le conseguenze indotte nelle prestazioni di prodotto; i fattori di disturbo, ovvero quelle variabili solitamente non controllabili, che possono influenzare negativamente il funzionamento dell'articolo (come, ad esempio, imprevisti cambiamenti sorti durante il processo produttivo, un non comune utilizzo del prodotto da parte del consumatore, ecc...); le metriche di performance, che costituiscono le specifiche di prodotto per le quali si vogliono valutare e massimizzare le prestazioni durante l'esperimento. Dopo aver identificato tutti questi elementi, il team deve decidere quali sottoporre all'analisi e agli esperimenti, nonché definire, tramite una funzione matematica, l'obiettivo in termini di robustezza che si desidera raggiungere in riferimento a ciascuna metrica di performance. È infatti possibile puntare alla massimizzazione o, al contrario, alla minimizzazione, dei valori relativi alla prestazione oggetto di esame.

Lo step successivo da compiere consiste nel predisporre i piani sperimentali, nei quali deve essere specificato come variare, nelle diverse prove, i valori dei fattori di controllo (quali e quanti livelli), al fine di poterne verificare gli effetti sulle performance. Preparare tali esperimenti e poi eseguirli, può rivelarsi estremamente oneroso per l'impresa. È necessario dunque valutare con attenzione i costi associati allo svolgimento di queste attività per determinare con precisione quante potenziali combinazioni di parametri si andranno a sperimentare. È inoltre fondamentale tenere in considerazione l'influenza dei fattori di disturbo che possono essere, pure loro, alterati arbitrariamente nel caso si rivelino controllabili, oppure semplicemente lasciati variare naturalmente,

qualora non risulti possibile regolare il loro impatto. Tutte queste informazioni vengono poi riassunte in un diagramma che presenta le varie prove da effettuare.

Una volta conclusa la pianificazione degli esperimenti, il team può dare avvio alla terza e ultima fase del processo, che prevede di eseguire le prove sulla base delle combinazioni stabilite in precedenza con una sequenza casuale e di analizzare statisticamente i risultati da queste derivanti. Gli obiettivi definiti durante il primo passaggio vengono comparati con i dati provenienti dalle sperimentazioni al fine di verificare se i valori riguardanti la performance media riscontrata e la sua varianza risultino accettabili. A tale scopo è necessario procedere all'esame degli effetti sulle prestazioni provocati dai diversi livelli considerati, relativi a ciascun fattore, calcolandone la corrispettiva media e varianza. Sarà pertanto possibile comprendere quali di questi livelli comportino un miglioramento (aumento o diminuzione a seconda degli obiettivi fissati) dei valori della performance media e una loro alta o bassa variabilità. Quei fattori, che generano una riduzione della varianza di prestazione, consentono un incremento della robustezza del prodotto. Può tuttavia accadere che certi fattori garantiscano elevata robustezza, ma performance non all'altezza o il contrario. In tal caso il team sarà costretto a effettuare alcuni trade-off, andando dunque alla ricerca del giusto equilibrio²².

1.5 Prototipazione, test e lancio del prodotto

L'ultima fase del processo che può, in alcuni casi e per particolari motivi, essere eseguita anche durante gli altri step del ciclo di sviluppo è costituita dalla realizzazione di diversi prototipi e dalla loro successiva valutazione.

Con il termine prototipo si vuole indicare un'approssimazione del prodotto che miri a rappresentare uno, alcuni, (prototipi focalizzati) o tutti (prototipi globali) i suoi aspetti, a seconda delle esigenze del team. In generale, i prototipi si possono suddividere in due tipologie: fisici e analitici. I primi sono oggetti materiali e tangibili e vengono solitamente generati per testare alcune caratteristiche di un articolo. Essi consentono, al contrario di quelli analitici, il riconoscimento di fenomeni imprevisi e dannosi per il funzionamento del prodotto anche nel caso in cui l'obiettivo della loro costruzione non sia direttamente indirizzato all'identificazione di tali circostanze. I secondi, che solitamente precedono quelli fisici, sono invece rappresentazioni matematiche o simulazioni visive spesso

²² ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 315 e ss.

create con software informatici, i quali permettono l'accurata analisi dei diversi attributi. Durante il loro impiego è possibile variare i valori dei diversi parametri con maggior semplicità e ampiezza rispetto ai prototipi fisici allo scopo di originare e successivamente valutare differenti alternative di progettazione.

Nell'ultimo trentennio sono nate e si sono evolute moltissime tecnologie atte a supportare e rendere maggiormente efficiente la fase di prototipazione analitica e fisica. Sistemi quali 3D CAD e stampanti 3D hanno rivoluzionato lo svolgimento di tale step e meritano dunque un'esaustiva analisi per la quale si rimanda al secondo capitolo dell'elaborato.

I benefici derivanti dalla realizzazione e dall'utilizzo dei prototipi sono molteplici. Innanzitutto permettono un migliore apprendimento da parte del team riguardo alcuni aspetti relativi al funzionamento tecnico del prodotto. Consentono poi di valutare se le varie componenti dell'articolo sono integrate perfettamente tra di loro, espletando in modo corretto la complessiva funzione prevista, nonché garantiscono l'intensificazione del coordinamento e della comunicazione con dirigenti, fornitori, membri di altre funzioni e consumatori. Si rivelano inoltre estremamente utili nel determinare, se e quando, un prodotto abbia raggiunto il livello di performance desiderato, permettendo così l'avvio della sua produzione. Un altro importante vantaggio è ravvisabile nel fatto che i prototipi possono ridurre il rischio di dover effettuare costose reiterazioni durante lo svolgimento del processo di sviluppo. Infatti, se la progettazione e la fabbricazione di un prodotto risultano caratterizzate da un'elevata incertezza riguardante i numerosi fattori di contesto, la creazione di uno o più prototipi si rende opportuna al fine di diminuire i rischi a queste collegate. Tale riduzione consente quindi un rilevante risparmio in termini di tempo e denaro, in quanto non risulta necessario ripetere l'esecuzione di alcune procedure.

Per pianificare la realizzazione di prototipi che contribuiscano al raggiungimento delle finalità di sviluppo e che evitino al contempo la dispersione di risorse ed energie, è fondamentale che il team si impegni in alcuni passaggi.

Il primo prevede di stabilire, nello specifico, gli obiettivi legati alla creazione dei prototipi, che riguardano solitamente il miglioramento della conoscenza relativa alle caratteristiche e ai requisiti di integrazione delle varie componenti di prodotto e il bisogno di coordinamento con le altre funzioni.

Il secondo passo consiste nel determinare, oltre alla tipologia di prototipi da generare, il loro livello di approssimazione rispetto al prodotto finale.

Dopo aver preso queste decisioni, il team può procedere alla definizione del piano sperimentale nel quale vengono indicate le regole che guideranno lo svolgimento dei test, le variabili da esaminare, le operazioni di misura da effettuare, nonché il programma per condurre le analisi sui risultati ottenuti. È inoltre importante prevedere le date in cui sarà possibile assemblare i vari elementi dei prototipi, eseguire il primo test e concludere il processo di valutazione.

Una volta terminato tale step, i prototipi possono dunque essere creati e successivamente studiati.

La pianificazione di quei prototipi che implementano tutte, o quasi tutte, le funzioni del prodotto finale (globali), il cui esame rappresenta il traguardo conclusivo per poi poter passare alla fase di produzione, deve essere eseguita con particolare attenzione e cura, considerato il consumo di tempo e denaro derivante dalla loro realizzazione. Esistono tre tipologie di tali prototipi, a seconda del loro scopo: quelli denominati “alfa”, che sono costruiti con materiali simili a quelli utilizzati per il prodotto finale, ma attraverso processi di produzione diversi e servono a valutare se il suo funzionamento risponde ai requisiti obiettivo; quelli definiti “beta”, che vengono creati tramite lo stesso ciclo produttivo del prodotto finale e consegnati al consumatore, perché nei test l’affidabilità nel reale ambiente di utilizzo; i prototipi di “pre-produzione”, che costituiscono invece i primi articoli finiti, realizzati in piccole quantità, avvalendosi dell’attuale processo produttivo al fine di verificarne il corretto svolgimento²³.

Una volta testati i vari prototipi e apportate le eventuali modifiche alle caratteristiche del prodotto, è dunque possibile dare avvio alla fase di produzione. Nel primo periodo gli articoli sono forniti a particolari clienti, che ne rilevano altri potenziali difetti da eliminare e vengono effettuati gli ultimi accorgimenti per quel che riguarda il sistema produttivo. Nel momento in cui non emergeranno più problemi in tal senso, si può gradualmente passare al definitivo lancio del prodotto sul mercato attraverso la sua produzione a pieno regime. Risulta infine necessario, dopo qualche mese dal lancio, verificare i dati relativi all’andamento delle vendite ed esprimere un giudizio su come è stato svolto l’intero ciclo di sviluppo allo scopo di identificare i punti di forza e debolezza

²³ ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *cit.*, p. 291 e ss.

che lo hanno caratterizzato, la cui conoscenza può consentire al team una migliore gestione dei progetti futuri.

Capitolo 2. L'impatto delle tecnologie digitali sul processo di sviluppo di nuovi prodotti

Il continuo progresso tecnologico in atto in questi ultimi decenni sta completamente sconvolgendo le modalità di esecuzione del processo di sviluppo di nuovi prodotti.

L'elevatissimo grado di competizione, che vede implicate le aziende d'oggi, le costringe a investire risorse sempre maggiori nella ricerca dei giusti espedienti che le permettano di superare la concorrenza dei competitor, guadagnare vantaggi nei loro confronti e rimanere quindi protagoniste attive sul mercato. La lotta per accaparrarsi il consenso del cliente dipende sempre di più dalla disponibilità, oltre che di competenze umane distintive, di efficaci tecnologie a supporto delle fasi di elaborazione del prodotto, tali da agevolare i membri del team di sviluppo nell'ideare soluzioni efficaci e innovative.

In questo capitolo si andranno ad analizzare i principali strumenti che possono, fin da subito e/o in futuro, garantire uno straordinario sostegno allo svolgimento delle attività di progettazione e prototipazione. Dopo un paragrafo introduttivo relativo alle generali conseguenze derivanti dall'adozione di tali tecnologie sull'organizzazione e sull'approccio di *problem-solving* aziendale, si prenderanno in considerazione nell'ordine: i sistemi 3D CAD, la stampa 3D, la Realtà Virtuale, la Realtà Aumentata e infine il *Building Information Modeling*.

Per ognuna di queste tecnologie verranno esaminate le caratteristiche tecniche e funzionali, i connessi fondamentali vantaggi, svantaggi, punti di forza e debolezza, nonché l'impatto generato all'interno del contesto aziendale dalla loro implementazione. L'approfondimento in questione offrirà dunque una complessiva panoramica dell'attuale apporto da esse assicurato nel corso del compimento del processo di sviluppo e consentirà inoltre di valutare le evoluzioni future che le potrebbero riguardare, sempre in un'ottica di costante miglioramento di detto ciclo.

2.1 Gli effetti sull'organizzazione e sull'attività di *problem-solving* aziendale

I costi di sviluppo e il *time to market* rappresentano due fattori chiave nel determinare il successo o il fallimento del processo diretto alla creazione di un prodotto innovativo e

del suo conseguente lancio sul mercato. La sperimentazione basata sull'utilizzo di prototipi fisici costituisce in tal senso una delle attività di elaborazione che richiedono il maggior consumo di tempo e denaro. Per questi motivi le imprese d'oggi non possono rinunciare all'impiego di particolari strumenti di rappresentazione e simulazione virtuale se vogliono aumentare o perlomeno mantenere inalterato il vantaggio competitivo sui propri competitor. Questi consentono la realizzazione di un prodotto dalle prestazioni superiori, ma necessitano, al contempo, di essere adeguatamente strutturati all'interno dell'organizzazione aziendale poiché la loro introduzione comporta numerose implicazioni nella complessiva gestione del ciclo di sviluppo. È dunque fondamentale individuare e valutare con attenzione quali sono i vantaggi, gli eventuali punti di debolezza e l'impatto indotto a livello organizzativo dal loro utilizzo. Queste tecnologie permettono innanzitutto di velocizzare la fase di test e di limitare sensibilmente l'esigenza di dover ricorrere alla costruzione di molti prototipi fisici, aumentando la qualità delle informazioni relative alla progettazione e il generale grado di conoscenza e apprendimento conseguito dai membri del team. Danno inoltre la possibilità di isolare, durante le prove, l'azione di determinati parametri, di effettuare una quantità decisamente più elevata di esperimenti, nonché di creare e testare design di prodotto alternativi o particolarmente insoliti. Tutti questi fattori, combinati assieme, comportano una notevole riduzione dei costi e delle tempistiche di sviluppo, oltre a un considerevole incremento della qualità del prodotto finale²⁴.

2.1.1 Metodo deduttivo e metodo induttivo

Per quanto concerne il contesto organizzativo aziendale, l'introduzione degli strumenti di simulazione virtuale apporta evidenti modifiche alle consuete modalità di operare e interagire dei diversi attori impegnati nel processo di progettazione, mutando, in particolare, l'approccio adottato per risolvere i problemi relativi al suo svolgimento e alla sua gestione. Tali problemi si possono suddividere in due principali tipologie: quelli di carattere tecnico, che si riferiscono, ad esempio, all'esatta elaborazione di un elemento nel rispetto di determinate specifiche funzionali e quelli di natura organizzativa, riguardanti invece la corretta integrazione delle varie risorse (input, componenti, persone) che partecipano al compimento delle molteplici attività di

²⁴ BECKER MARKUS C., SALVATORE PASQUALE, ZIRPOLI FRANCESCO, *The impact of virtual simulation tools on problem-solving and new product development organization*, Research Policy 34, Elsevier, 2005.

sviluppo.

Nel corso dell'iter, che porta alla loro risoluzione, entrano in gioco due diverse categorie di conoscenza, strettamente legate l'una all'altra, il cui accostamento garantisce un considerevole miglioramento del procedimento in questione.

Il primo gruppo è costituito dalle nozioni teoriche scientifiche di base, mentre il secondo si fonda sull'esperienza pratica accumulata nel tempo in termini di applicazioni di prodotto e processo. L'impiego congiunto di queste classi di conoscenza consente di realizzare prodotti maggiormente innovativi e superiori sotto il profilo qualitativo, nonché di diminuire drasticamente i costi relativi al ciclo di sviluppo.

Tali categorie, se considerate singolarmente, vengono associate a due possibili strategie di risoluzione dei problemi definiti in precedenza, le cui principali caratteristiche sono riassunte in Tabella 5.

La prima, denominata "metodo deduttivo", prevede di applicare le generali leggi scientifiche per dirimere particolari difficoltà sorte in fase di elaborazione del prodotto. Essa presume che, dopo aver identificato uno specifico problema, si proceda all'individuazione e comprensione delle norme di tipo scientifico, conosciute e a disposizione dell'impresa, che possono essere adottate per risolvere la circostanza oggetto d'esame e per prevedere le potenziali conseguenze future. La conoscenza su cui possono porre affidamento i membri del team è pertanto esplicita e formalizzata: consente di decifrare a priori con considerevole precisione e chiarezza i vari problemi, nonché di effettuare e interpretare con maggiore semplicità simulazioni, esperimenti in laboratorio e test, anche all'interno di un contesto virtuale (*learning before doing*).

La seconda strategia è definita invece "metodo induttivo": permette di generare spiegazioni, nozioni e concetti, a partire da esemplificazioni desumibili dalla concreta esecuzione, implementazione e sperimentazione delle diverse attività di progettazione e produzione nel reale ambiente di utilizzo (*learning by doing*). Questo approccio risulta decisamente importante soprattutto all'interno di contesti caratterizzati da un'elevata complessità e dove non esiste ancora un'affidabile base scientifica di supporto. Il tipo di conoscenza a sostegno dell'operato del team è, in questo caso, per lo più implicita e tacita. A tal proposito, un aspetto da tenere in grande considerazione è costituito dall'impatto esercitato dai cambiamenti tecnologici, sociali, economici e politici in merito alle conoscenze possedute dall'impresa. Dette improvvise variazioni possono rendere obsoleti i principi sui cui poggiano le competenze aziendali e comportare

rilevanti modifiche nelle modalità di risoluzione dei problemi da affrontare. In questa situazione il metodo deduttivo non si rivela molto efficace, mentre il meccanismo induttivo si dimostra adeguato nel fronteggiare tale tipologia di mutamenti.

Tabella 5. Caratteristiche distintive dei metodi deduttivo e induttivo²⁵.

Caratteristiche distintive	Metodo deduttivo	Metodo induttivo
Conoscenza	Formalizzata ed esplicita	Tacita e implicita
Fonti conoscenza	Esterne	Interne
Tipologia di conoscenza	Scientifica	Esperienziale (reale)
Approccio tipico	<i>Learning before doing</i>	<i>Learning by doing</i>
Contesto di applicazione	Stabile	Dinamico

È dunque evidente che una strategia di tipo deduttivo si dimostra maggiormente appropriata nelle circostanze in cui la conoscenza a disposizione dell'impresa risulta molto formalizzata, in quanto consente una più facile stima e valutazione delle conseguenze derivanti dalle interazioni tra le variabili progettuali. Al contrario, in presenza di contesti altamente instabili e dinamici, le possibilità di prevedere i suddetti effetti diminuiscono radicalmente e l'adozione di una strategia induttiva rappresenta quindi il migliore approccio. Come esplicitato precedentemente, per un'ideale risoluzione dei molteplici problemi riguardanti il ciclo di sviluppo, queste due metodologie si dovrebbero tuttavia implementare in modo iterativo e combinare opportunamente tra loro.

Le leggi di carattere scientifico, che costituiscono il fulcro della conoscenza formalizzata, derivano dalle attività di indagine realizzate dai vari enti di ricerca e solitamente la loro evoluzione segue un ritmo piuttosto lento. Queste rappresentano per l'azienda un fattore esogeno sul quale è dunque difficile influire nel corso del processo di progettazione. La conoscenza ereditata dall'esperienza costituisce, invece, un elemento su cui è possibile agire più facilmente per apportare sensibili miglioramenti all'esecuzione del ciclo di sviluppo. Si può ottenere a seguito del concreto svolgimento

²⁵ Elaborazione personale su fonte: BECKER MARKUS C., SALVATORE PASQUALE, ZIRPOLI FRANCESCO, *cit.*, p. 1308 e ss.

delle mansioni di progettazione e produzione e della successiva valutazione dei risultati da queste provenienti (ad esempio si può provvedere alla costruzione di nuove automobili e poi analizzare i dati sulle cause tecniche degli incidenti accaduti realmente), oppure attraverso l'effettuazione di esperimenti. In quest'ultimo caso è possibile distinguere due opposte modalità di sperimentazione: quella fisica, che prevede di compiere le diverse prove all'interno di un ambiente reale (ad esempio nei crash test automobilistici in cui la vettura viene fatta effettivamente schiantare contro un muro); e quella virtuale, che consente di simulare a computer l'esperimento in questione, permettendone continue reiteratezioni²⁶. La seconda alternativa consente di testare moltissime ipotesi e le relazioni causali che le riguardano, permettendo quindi di osservare il comportamento del prodotto in molteplici situazioni e creando le condizioni ottimali per l'avvio di un valido processo di apprendimento.

2.1.2 Gli strumenti di simulazione virtuale e l'applicazione del metodo abduttivo: il caso *automotive*

Dopo queste premesse è possibile esaminare i prerequisiti essenziali per l'introduzione delle tecnologie di simulazione virtuale durante gli step di sperimentazione e le conseguenze da esse determinate sul processo di risoluzione delle diverse problematiche. Ad un primo impatto potrebbe sembrare che un atteggiamento di tipo induttivo, fondato sull'esperienza pratica accumulata nel tempo dai membri del team, risulti essere la prerogativa fondamentale per un'efficace implementazione di tali strumenti. In realtà il loro inserimento e utilizzo richiede la presenza di norme e leggi scientifiche formalizzate che garantiscano la comprensione delle regole alla base dei fenomeni oggetto di successiva simulazione. Ciò sta a confermare come la combinazione di questi approcci rappresenti il presupposto indispensabile anche per l'adozione degli strumenti virtuali di supporto. Creare all'interno dell'impresa le condizioni necessarie perché sia possibile impiegare assieme tali strategie e di conseguenza le tecnologie di simulazione, rappresenta una questione e una difficile sfida da affrontare sotto il profilo organizzativo.

²⁶ BECKER MARKUS C., ZIRPOLI FRANCESCO, *Problem-Solving by Abduction in New Product Development*, Journal of the IGPL, 2006.

In un'indagine eseguita all'interno del settore *automotive* tra ottobre 2002 e ottobre 2004 dal ricercatore Markus C. Becker e dal professore universitario Francesco Zirpoli, è stato possibile osservare e analizzare l'impatto, soprattutto a livello organizzativo, derivante dall'introduzione e dall'implementazione degli strumenti di simulazione virtuale, in un'impresa produttrice di componentistica per veicoli (OEM). Lo studio ha inoltre preso in considerazione il ruolo ricoperto da un centro di ricerca specializzato nella realizzazione e impostazione di queste tecnologie nel favorire la loro corretta adozione durante lo svolgimento del processo di sviluppo. Tale settore, in cui l'innovazione di prodotto assume una rilevanza decisiva venendo perseguita tramite continui cicli di tentativi ed errori, rappresenta un ottimo esempio da cui desumere assunzioni di carattere generale e trarre interessanti conclusioni applicabili anche ad altri contesti aziendali, che saranno di seguito riportate nello specifico.

Dall'esame del caso oggetto d'indagine è emerso come l'impiego delle tecnologie di simulazione virtuale abbia consentito non solo di ridurre il complessivo tempo di elaborazione dell'articolo, ma pure di ritardare sensibilmente il momento in cui si rivela necessario costruire i primi prototipi fisici (passando da 40 mesi prima del lancio del prodotto sul mercato a solamente 28). L'utilizzo di questi strumenti, anche nelle fasi avanzate del processo, ha inoltre permesso di risparmiare ingenti risorse economiche (circa il 25% dei costi relativi allo step di prototipazione) a seguito del minore ricorso alla sperimentazione fisica e alla conseguente riprogettazione di alcuni elementi. Le spese riguardanti l'intero ciclo di sviluppo si sono dimostrate dunque complessivamente inferiori di circa il 50%. Come già detto in precedenza, essi hanno dato la possibilità, al contrario dei prototipi fisici, di verificare e testare un considerevole numero di ipotesi, valutando gli effetti provocati dalla variazione di un particolare parametro e mantenendo fisso il valore di tutti gli altri.

Dal punto di vista organizzativo è fondamentale elaborare e stabilire un'adeguata procedura per lo sviluppo virtuale, basata sulle varie norme e specifiche di progettazione, allo scopo di garantire un efficiente e affidabile impiego delle tecnologie in questione. Il team deve infatti comprendere a fondo le loro modalità di funzionamento e saper interpretare i risultati da queste provenienti nella giusta maniera. Nel caso in analisi, il compito di predisporre tali strumenti e i relativi criteri di fruizione è stato assegnato a un centro di ricerca, anche se tale fase ha comunque richiesto il coinvolgimento di alcuni membri del team, data la necessità di trasferire le opportune

informazioni riguardanti le regole di progettazione, produzione e interazione delle varie componenti. Per la definizione delle procedure è stata creata una funzione *ad hoc*, al fine di favorire una più stretta collaborazione tra individui con diverse competenze e attitudini nella risoluzione dei problemi, in modo tale da assicurare la contemporanea presenza e applicazione sia del metodo deduttivo che di quello induttivo. In generale, a seconda della complessità del fenomeno da simulare, questo processo può protrarsi per un periodo che va dai 12 ai 24 mesi circa.

Per il settore considerato, il passaggio cruciale nel determinare un'appropriate procedura per lo sviluppo virtuale, consiste nel modellare il comportamento di una vettura già presente sul mercato dal punto di vista matematico. A partire da tali dati, è possibile dare origine a una sua prima bozza che è tuttavia indispensabile testare, confrontando la corrispondenza tra i risultati di performance riscontrati durante la reale sperimentazione fisica e quelli osservati nel corso della simulazione. Per effettuare una prima convalida, è fondamentale che gli esiti rilevati coincidano tra loro, altrimenti risulta necessario apportare modifiche ai requisiti stabiliti. Tale procedura si dimostra utile e attendibile per ratificare le prestazioni di un veicolo già commercializzato, ma non è detto fornisca una loro corretta previsione nel caso di un'auto totalmente nuova. Per garantire un certo grado di affidabilità dei risultati che si andranno poi a esaminare, è dunque essenziale effettuare un ulteriore test di conferma su una vettura notevolmente diversa da quella impiegata nella prima comparazione e verificare nuovamente la coerenza dei dati ottenuti. Una volta raggiunta questa condizione è pertanto possibile convalidare definitivamente la procedura in oggetto, che permetterà di stimare accuratamente le performance dei futuri veicoli e di individuare potenziali errori di progettazione.

Nell'azienda in analisi questo procedimento è stato portato a termine con successo, permettendo la raccolta di valide informazioni prima di eseguire lo step di sperimentazione fisica.

La realizzazione dei passaggi sopra elencati richiede il compimento di considerevoli sforzi all'impresa e costituisce la causa del verificarsi di importanti conseguenze a livello organizzativo, aspetti che di seguito si andrà a riassumere. Innanzitutto è indispensabile la creazione di un team dedicato allo sviluppo degli strumenti e delle relative procedure, il quale deve essere composto da persone con diverse competenze che utilizzino i differenti approcci alla risoluzione dei problemi (deduttivo e induttivo). Anche per

l'effettivo impiego di tali tecnologie, si rende essenziale il coordinamento tra membri di molteplici funzioni aziendali, nonché l'integrazione delle loro rispettive capacità e attitudini al *problem-solving*. È inoltre necessario, durante le fasi di elaborazione e implementazione degli strumenti di simulazione virtuale, attuare un continuo perfezionamento del loro funzionamento e assicurare la presenza in azienda di un'adeguata base di conoscenza formalizzata al fine di adoperarli correttamente. Essi consentono poi di avere un maggior controllo sulle fasi di progettazione del prodotto, grazie alla maggiore qualità e quantità di informazioni a disposizione del team.

I cambiamenti più evidenti derivanti dalla loro introduzione si ravvisano, però, nelle modalità di risoluzione dei problemi riguardanti l'esecuzione del processo di sviluppo. L'attività di *problem-solving* si svolge in due passaggi: il primo prevede di identificare un insieme di potenziali soluzioni; il secondo consiste nel testarle e valutarle, una a una, per individuare quella migliore. Un fondamentale esito, più volte ribadito, generato dall'impiego delle tecnologie di simulazione virtuale, è costituito dalla riduzione dei costi e delle tempistiche relative alla realizzazione della fase di test e dalla conseguente possibilità di analizzare un più elevato numero di alternative. Ciò, grazie anche all'adozione congiunta degli approcci deduttivo e induttivo, permette altresì di esaminare quelle soluzioni che solitamente vengono trascurate per ragioni di tempo, ma che in realtà possono rivelarsi alquanto sorprendenti.

Le procedure standardizzate, su cui si fonda la fruizione di tali strumenti, rappresentano inoltre la struttura di base che permette di effettuare confronti tra i vari esperimenti portati a termine e di aumentare le possibilità di apprendimento connesse alla sperimentazione.

Tuttavia il principale effetto scaturente dal loro utilizzo è riscontrabile all'interno del primo step del procedimento di *problem-solving*. Lo studio e la valutazione delle alternative dimostratesi sconcertanti, comportano infatti la nascita di numerose occasioni di riflessione che possono condurre alla ridefinizione del problema in questione e del gruppo di soluzioni precedentemente individuato per dirimerlo, incrementando, al contempo, le opportunità di trovare nuove risposte decisamente originali. La rideterminazione delle diverse opzioni consente pertanto di accrescere significativamente il grado di innovazione che caratterizza lo sviluppo del prodotto e implica, inoltre, una radicale trasformazione dell'approccio alla risoluzione dei problemi finora considerato. Dall'applicazione combinata dei ragionamenti deduttivo e induttivo,

si passa a quella del cosiddetto “metodo abduttivo”, la cui adozione risulta il passaggio fondamentale per la creazione di nuova conoscenza durante lo svolgimento del processo di progettazione.

Questo metodo prevede di formulare ipotesi specifiche, che si pensa forniscano un logica spiegazione dei fenomeni osservati²⁷. Tali supposizioni non si fondano solamente su una conoscenza di base formalizzata o su esempi pratici ravvisati nel passato, ma soprattutto sull'intuizione e sull'immaginazione. Gli strumenti di simulazione virtuale danno ampio spazio alla creatività dei progettisti, consentendo loro di testare ipotesi non convenzionali e di generare design innovativi e unici. Per attuare questo, è necessario uscire dagli schemi e dall'inquadramento del problema da affrontare. Al contrario degli approcci deduttivo e induttivo, i quali richiedono un certo livello di strutturazione del problema oggetto di risoluzione, il ragionamento abduttivo si rivela adatto anche in circostanze di incertezza e non ben definite. Attraverso il suo impiego è dunque possibile concepire singolari e originali ipotesi che saranno poi successivamente esaminate e testate per verificarne la validità.

I tre metodi illustrati all'interno del paragrafo assumono un importante ruolo nel corso dell'intero ciclo di sviluppo del prodotto e il loro utilizzo varia a seconda delle situazioni in cui il team viene a trovarsi.

L'indagine condotta ha quindi messo in evidenza come le imprese che appartengono al settore *automotive*, si servano di molteplici tecnologie che possono comportare differenti conseguenze sull'attività di *problem-solving*. Quelle che consentono di creare la semplice rappresentazione digitale del prodotto e delle sue componenti garantiscono la loro visualizzazione prima della realizzazione fisica del prototipo e favoriscono principalmente l'adozione del metodo induttivo. Tuttavia, visto l'elevato grado di condivisione e collaborazione assicurato dalla maggior parte di tali strumenti e la grande varietà di operazioni di progettazione eseguibili a partire dal loro utilizzo, essi possono costituire la base e il punto di inizio necessario per un eventuale impiego di un approccio di tipo abduttivo.

Le tecnologie che invece permettono di ricostruire virtualmente anche il reale comportamento dell'articolo e di evidenziarne i potenziali problemi, rendono fattibile il test di moltissime diverse ipotesi, che non sarebbe altrimenti eseguibile in caso di loro assenza. È questa seconda tipologia che può essere direttamente associata al

²⁷ BECKER MARKUS C., SALVATORE PASQUALE, ZIRPOLI FRANCESCO, *cit.*, p. 1310 e ss.

ragionamento abduttivo²⁸. L'attuazione di tale approccio è dunque fortemente stimolata dall'implementazione della seconda categoria di strumenti e rappresenta l'espedito migliore in contesti caratterizzati da un elevato grado di cambiamento e novità, come risulta quello in cui operano le imprese del settore *automotive*.

2.2 I sistemi 3D CAD

Da sempre, ma in particolare per le attuali aziende, una delle prerogative essenziali per mantenere o guadagnare un vantaggio competitivo sui diretti concorrenti è costituita dall'efficiente svolgimento del ciclo di sviluppo. Come più volte esplicitato, l'avvento delle tecnologie digitali ha apportato notevoli miglioramenti nell'esecuzione di tale processo, garantendo un considerevole risparmio in termini di tempi e costi, nonché un notevole incremento della qualità complessiva dei prodotti commercializzati.

Uno dei principali strumenti di cui le imprese possono servirsi per raggiungere detti obiettivi è rappresentato dai sistemi 3D CAD (*Computer-Aided Design*), i quali consentono di creare un modello solido digitale del prodotto per effettuare una sua adeguata progettazione. Questi offrono la possibilità ai membri del team di generare specifiche immagini tridimensionali dell'articolo o delle sue componenti e, se provvisti di particolari applicativi, permettono lo svolgimento di precise valutazioni, analisi e test di carattere tecnico; in caso contrario costituiscono la base e il punto di partenza per la loro esecuzione tramite l'impiego di altre tipologie di software. I progettisti possono dunque modificare in tempo reale le caratteristiche e la configurazione del prototipo sulla base dei dati ottenuti²⁹.

In questo paragrafo verrà innanzitutto approfondito il percorso storico che ha portato alla loro introduzione, per poi passare all'esame, con il supporto di alcuni esempi, dei vantaggi e dei cambiamenti a livello organizzativo indotti dal loro utilizzo. Le conseguenze generate possono ovviamente variare a seconda del tipo di prodotto che si andrà a realizzare e del settore di competenza.

L'iter di evoluzione di tale tecnologia può essere sinteticamente suddiviso in tre momenti.

Nel primo, che va dagli inizi degli anni Settanta alla metà circa degli Ottanta, le imprese si servivano, considerata la loro elevata precisione, principalmente di sistemi per

²⁸ BECKER MARKUS C., ZIRPOLI FRANCESCO, *cit.*, p. 385.

²⁹ SCHILLING MELISSA A., IZZO FRANCESCO, *cit.*, p. 517-518.

l'elaborazione di disegni 2D (raramente in 3D) in formato elettronico.

La fase successiva, che si protrae dalla metà degli anni Ottanta fino alla metà circa dei Novanta, vede una rapida diffusione dell'adozione degli strumenti 3D CAD, secondo il classico andamento della curva a "S" e un sensibile miglioramento dell'apprendimento riguardante le corrette procedure di utilizzo da parte dei progettisti. Ciò si verifica grazie ai continui progressi ravvisabili nella velocità e affidabilità del loro funzionamento, nonché nella facilità di trasferimento dei dati. In questo stadio si trova ancora la compresenza di disegni 2D e 3D per la rappresentazione di diverse parti di uno stesso prodotto, dato il notevole consumo di tempo richiesto dalla modellazione 3D.

Durante il terzo e ultimo periodo, che va dalla metà degli anni Novanta fino ai giorni nostri, si può riscontrare la definitiva affermazione dei sistemi 3D, i quali permettono la progettazione dei vari elementi che compongono il prodotto attraverso la creazione di modelli solidi. I dati da questi derivanti vengono scambiati e utilizzati dai tecnici impegnati nell'elaborazione dell'articolo al fine di perfezionarne i requisiti e ritardare la costruzione di prototipi fisici.

2.2.1 Attributi distintivi e benefici chiave

Il passaggio dai sistemi 2D CAD a quelli 3D CAD ha comportato rilevanti cambiamenti non solo nello svolgimento pratico delle procedure relative al processo di sviluppo, ma anche nelle modalità di *problem-solving* ad esso connesse (vedi Tabella 6).

La prima tipologia di strumenti (2D CAD) si rivela particolarmente utile nel dirimere quella porzione di problemi strutturati che si incontrano in fase di elaborazione e che si possono convenientemente risolvere tramite l'applicazione degli approcci deduttivo o induttivo. Il loro utilizzo è infatti basato su una serie di regole di progettazione che supportano l'attività di analisi dei dati svolta dal team e garantiscono la corretta risoluzione dei problemi inquadrabili all'interno di tali principi attraverso l'adozione di ragionamenti deduttivi e induttivi. La conoscenza e le informazioni provenienti dal completamento di questo ciclo vengono quindi memorizzate in un database dedicato. I sistemi 3D CAD possono invece essere di parziale sostegno, grazie alle loro caratteristiche tecniche, per l'impiego da parte dei progettisti anche del metodo abduttivo. Al fine di comprendere meglio le motivazioni che portano a tale cambiamento di approccio, è necessario illustrare gli attributi chiave e i benefici che differenziano e qualificano detta tecnologia, rispetto al 2D CAD.

Questo sistema consente innanzitutto di usufruire di una visualizzazione completa del prodotto e delle sue componenti da ogni prospettiva. È inoltre possibile definire e riprodurre con maggior precisione le forme e i dettagli dei vari elementi. Al contrario, la rappresentazione in 2D non permette di osservare l'articolo da tutte le angolazioni plausibili e il suo grado di accuratezza risulta decisamente inferiore. Tuttavia, per la sua implementazione, sono richieste competenze meno specifiche e un più basso livello di esperienza.

La tecnologia 3D CAD permette inoltre, solitamente se adottata in combinazione con altri particolari software, di effettuare alcune specifiche analisi di simulazione. In tale circostanza, essa rappresenta il passaggio iniziale per l'avvio dello svolgimento delle operazioni di test e verifica attraverso altri programmi informatici, da parte delle funzioni impegnate nel processo e il punto di arrivo dove riconfluiscono tutte le modifiche da queste apportate. Il suo impiego diminuisce dunque il ricorso alla prototipazione fisica, migliorando la qualità dei dati a disposizione del team. Alcune versioni più recenti e all'avanguardia dei sistemi 3D CAD, dotate di particolari applicativi, consentono tuttavia di eseguire direttamente determinate simulazioni del funzionamento del prodotto e del suo comportamento sotto l'effetto di diverse tipologie di stress e sollecitazioni (ad esempio l'analisi degli elementi finiti (FEA)).

In ogni caso, questi strumenti si rivelano decisamente costosi e meno performanti rispetto ai software dedicati esclusivamente all'effettuazione di verifiche e test. Una sorta di analisi di simulazione offerta da tutti i sistemi 3D CAD e non riscontrabile nei precedenti 2D CAD, è costituita dalla possibilità di osservare ed esaminare, tramite un modello digitale e sin dalle prime fasi del ciclo di sviluppo, la corretta integrazione e l'ipotizzabile assemblaggio delle molteplici componenti che formano il prodotto, senza disperdere importanti energie e risorse nella costruzione di prototipi. Ciò permette di verificare la presenza di potenziali interferenze tra le varie parti e di trovare gli espedienti adatti per risolverle, nonché di valutare la complessiva facilità delle future operazioni di assemblaggio.

L'eventuale ricombinazione di taluni sotto-sistemi è dunque resa più agevole e può condurre allo sviluppo di diverse linee di prodotto a costi ridotti. Nella ricerca di ragionevoli soluzioni ai problemi di integrazione che riguardano i differenti elementi, può nascere l'occasione per il team di individuare originali e innovative architetture di

prodotto³⁰.

L'ultimo requisito, direttamente legato a quelli sopra citati, meritevole di particolare attenzione e che costituisce uno dei più evidenti vantaggi derivanti dall'impiego di tale strumento, è rappresentato dall'opportunità di migliorare la comunicazione e il coordinamento tra i membri del team di sviluppo o tra i tecnici appartenenti a diverse funzioni aziendali. Il sistema 3D CAD offre, a differenza dei disegni 2D, un linguaggio e una conoscenza facilmente comprensibili e condivisibili da parte dei progettisti, i quali possono pertanto scambiarsi proficue idee e utili informazioni in modo più efficiente e apportare, di conseguenza, le esatte modifiche al modello virtuale. Anche la risoluzione dei potenziali conflitti riguardanti l'integrazione dei vari elementi di prodotto può dunque risultare meno difficoltosa. I dati relativi alla progettazione delle molteplici componenti vengono immagazzinati all'interno di un database, rapidamente consultabile per eventuali dubbi o chiarimenti, che è indispensabile tenere costantemente aggiornato al fine di non commettere pesanti errori nel prosieguo del processo.

L'avvento dell'era di Internet ha aperto le porte a un uso ancora più intenso di tale tecnologia e i benefici in termini di coordinamento tra i diversi attori protagonisti dello sviluppo del prodotto sono aumentati notevolmente. Le persone impegnate nella fase di progettazione possono infatti comunicare agevolmente e condividere tra loro i modelli virtuali, anche nel caso siano localizzati in differenti zone del mondo. L'accostamento di questi strumenti ha consentito inoltre di collaborare con maggiore semplicità e frequenza, assieme a fornitori e partner di produzione, i quali possono offrire importanti indicazioni ai membri del team in tema di elaborazione dell'articolo³¹.

2.2.2 Impatti a livello organizzativo: il caso Boeing 777

Come evidenziato in precedenza, la combinazione delle suddette caratteristiche tecniche supporta l'introduzione del ragionamento abduttivo durante la risoluzione dei problemi riscontrati in fase di sviluppo. I sistemi 3D CAD, rappresentando solitamente il punto di partenza per la valutazione e il test, attraverso l'adozione di altre tipologie di programmi, di un numero più elevato di ipotesi riguardanti il comportamento del

³⁰ BABA YASUNORI, KENTARO NOBEOKA, *Towards knowledge-based product development: the 3-D CAD model of knowledge creation*, Research Policy 26, Elsevier, 1998.

³¹ Li W. D., LU W. F., FUH J. Y. H., WONG Y.S., *Collaborative computer-aided design-research and development status*, Computer-Aided Design 37, Elsevier, 2005, p. 931.

prodotto, garantiscono il miglioramento delle sue complessive prestazioni e la contemporanea diminuzione delle probabilità di commettere errori. Va tuttavia ribadito che, le versioni più recenti di tali strumenti, possono essere dotate di particolari applicativi che permettono direttamente l'attuazione di determinate operazioni di simulazione. Questi aspetti, uniti alla possibilità di beneficiare di una completa visualizzazione dell'articolo, gettano le basi per l'avvio di proficue riflessioni sull'eventuale esistenza di ulteriori soluzioni qualitativamente superiori e consentono quindi di ampliare il numero di plausibili alternative da testare. Il più elevato grado di interazione e condivisione delle informazioni e idee, assicurato dall'impiego dei sistemi 3D CAD, garantisce poi la creazione di nuova conoscenza, la quale è fondamentale venga immagazzinata poiché rappresenta il punto di partenza per la realizzazione di prodotti altamente innovativi. Anche l'esperienza accumulata nel corso degli anni e derivante dall'utilizzo di tale tecnologia durante il processo di progettazione gioca un ruolo importante, in quanto aumenta le probabilità di ragionare in modo abduittivo delle persone impegnate nel suo svolgimento.

Con il passare degli anni le modalità di esecuzione del processo di sviluppo hanno subito rilevanti cambiamenti e la diffusione dei sistemi 3D CAD si è rivelata essenziale per il loro compimento. Fino alla metà circa degli anni Novanta, le imprese erano solite concludere una fase del ciclo prima di cominciare a svolgere quella successiva, seguendo pertanto un ordine di tipo sequenziale. Tra uno step e l'altro veniva valutata la convenienza nel proseguire con l'elaborazione del progetto o la necessità di apportarvi qualche modifica, ma ciò rendeva difficoltoso il coordinamento tra i tecnici di progettazione e le altre funzioni aziendali, in particolare con l'area di produzione. Questo comportava il bisogno di effettuare continue reiterazioni del processo con considerevoli ritardi e sprechi di risorse. È per tali motivi che ha cominciato a diffondersi un nuovo approccio alla realizzazione del ciclo di sviluppo, basato sul contemporaneo svolgimento di alcune sue fasi e denominato *concurrent* o *simultaneous engineering*.

Secondo questo metodo, gli step di progettazione di prodotto e processo entrano in gioco fin dai momenti iniziali del percorso di elaborazione dell'articolo allo scopo di permettere una più intensa collaborazione tra i membri delle diverse funzioni, un aumento della qualità del prodotto finale e una rilevante diminuzione dei tempi e costi di sviluppo. Il suo impiego è inoltre ulteriormente incentivato dalle caratteristiche

dell'ambiente competitivo in cui le imprese d'oggi si trovano a operare, che richiede loro di provare a ridurre al minimo il tempo di introduzione dei prodotti sul mercato per non perdere terreno nei confronti dei concorrenti.

La tecnologia 3D CAD assume, come detto, un ruolo indispensabile nel favorire l'effettiva implementazione del *simultaneous engineering*. Essa, infatti, data la sua capacità di consentire un efficace scambio di informazioni, assicura il necessario collegamento tra gli ingegneri addetti alla progettazione di prodotto e processo, nonché il loro tempestivo ingresso sin dalle prime fasi del ciclo di sviluppo. È quindi garantito il coordinamento tra i vari sottogruppi di persone impegnati nell'elaborazione delle diverse componenti per le quali si rivela fondamentale l'analisi delle relative interdipendenze. Ciò permette di realizzare frequenti test e di perfezionare rapidamente gli attributi dell'articolo, tenendo al contempo in grande considerazione i vincoli imposti dagli step di assemblaggio e produzione. Tutto questo conduce alla creazione di un prodotto maggiormente innovativo e dal design originale, nonché al miglioramento delle generali performance dell'intero processo di sviluppo. Quest'ultima conseguenza determina altresì un consistente risparmio di risorse dal punto di vista economico³². In conclusione è possibile affermare come, per le imprese che adottano l'approccio di *concurrent engineering*, risulti fondamentale l'utilizzo della tecnologia 3D CAD, considerati gli evidenti vantaggi da essa derivanti.

Uno degli esempi più rappresentativi dell'efficace impiego di un sistema 3D CAD nel corso del processo di sviluppo di un nuovo prodotto è costituito dal progetto che ha portato alla realizzazione dell'aereo di linea Boeing 777, entrato in servizio nel 1995. Per la sua realizzazione si è resa necessaria la diretta collaborazione tra cinque importanti costruttori giapponesi di aeromobili e la stessa azienda Boeing. Attraverso lo studio di questo caso pratico, è possibile analizzare le modalità con cui è stata implementata la tecnologia in questione ed esaminare concretamente i cambiamenti da essa indotti a livello organizzativo. L'introduzione del 3D CAD ha infatti richiesto e comportato rilevanti modifiche al consueto iter di svolgimento del ciclo di sviluppo. Innanzitutto è risultato opportuno condurre in contemporanea le operazioni riguardanti la definizione delle principali caratteristiche di progettazione relative a ciascuna

³² TAN CHONG LENG, VONDEREMBSE MARK A., *Mediating effects of computer-aided design usage: From concurrent engineering to product development performance*, Journal of Operations Management 24, Elsevier, 2006, p. 498 e ss.

componente di prodotto. A tale scopo sono stati creati molteplici sottogruppi, composti da persone appartenenti alle varie funzioni aziendali impegnate nell'elaborazione dell'aereo. Così operando, è stato possibile rilevare, fin da subito, eventuali interferenze tra i diversi elementi o loro malfunzionamenti e verificarne la fattibilità sulla base dei vincoli imposti dalla fase di produzione. La vera rivoluzione per l'impresa è però rappresentata dalla completa progettazione di tutte le parti del velivolo tramite il software 3D CAD denominato "Catia". La determinazione di ogni componente e dei suoi requisiti è stata infatti eseguita servendosi esclusivamente di questo strumento digitale, che ha permesso inoltre di valutare la loro idonea integrazione e il loro corretto assemblaggio sin dagli step iniziali del processo di sviluppo.

Nonostante l'adozione di tale sistema abbia comportato un aumento dei compiti da svolgere da parte dei progettisti, i benefici derivanti dal suo utilizzo si sono rivelati decisamente considerevoli. La necessità di ricorrere ad aggiustamenti delle specifiche di progettazione, a seguito della riscontrata presenza di errori, si è ridotta del 75% grazie soprattutto al costante coordinamento tra i vari sottogruppi di lavoro e alla più semplice rilevazione delle interferenze tra elementi. Esso ha poi consentito di diminuire notevolmente il ricorso alla costruzione di numerosi prototipi fisici e i costi a questi associati. Il nuovo processo di sviluppo ha infine assicurato la realizzazione di un prodotto di maggiore solidità e affidabilità ("robusto") e fornito la possibilità all'impresa di reimpiegare i sottoinsiemi di componenti progettati e testati digitalmente, anche in nuovi futuri progetti. Ciò sta a dimostrare come la conoscenza accumulata e memorizzata durante l'elaborazione di un particolare prodotto possa risultare estremamente importante per realizzarne di ulteriori e per superare la concorrenza dei competitor³³.

L'esempio riportato evidenzia dunque chiaramente quali e quanti siano i vantaggi desumibili da un'adeguata implementazione dei sistemi 3D CAD nel corso del ciclo di sviluppo.

In generale è utile comprendere e riassumere i cambiamenti di tipo organizzativo che si rendono necessari e che le aziende si trovano ad affrontare al momento dell'introduzione di tali strumenti (vedi Tabella 6).

Per prima cosa è fondamentale mutare l'ottica relativa all'ottimizzazione delle

³³ BABA YASUNORI, KENTARO NOBEOKA, *cit.*, p. 652 e ss.

prestazioni. Ciò che conta non è la massimizzazione dell'efficienza delle operazioni eseguite dalla singola funzione, bensì di quella dell'intero processo. Ad esempio, la creazione di un modello in 3D richiede ai membri di una qualsiasi area aziendale, un impegno in termini di ore di lavoro superiore rispetto alla costruzione di uno stesso elemento in 2D, ma, nonostante questo, la sua realizzazione consente un sensibile miglioramento delle complessive performance di sviluppo. I manager non devono quindi soffermarsi all'esame delle conseguenze generate a livello locale dall'introduzione di tali sistemi, ma prendere invece in considerazione i potenziali effetti positivi che essi assicurano nei confronti del progetto globale.

Un ulteriore aspetto chiave riguarda le competenze dei progettisti, i quali devono abbandonare alcune abilità e conoscenze maturate durante l'impiego della modellazione 2D, rimpiazzandole con altre indispensabili all'elaborazione del prodotto in formato 3D. Tali figure devono infatti sviluppare nuove capacità per eseguire le attività di valutazione e analisi dei dati nell'esatta maniera, nonché di comprendere e interpretare correttamente i dati provenienti dalla funzione di produzione. L'apprendimento di diverse competenze risulta pertanto necessario per un efficace e appropriato utilizzo di questi strumenti.

Un'ultima variazione del contesto organizzativo, direttamente connessa a quella appena chiarita, è ravvisabile nella divisione dei compiti tra i membri delle varie funzioni. Con l'adozione dei sistemi 3D CAD, le differenti mansioni di sviluppo non devono più essere svolte da persone appartenenti a molteplici aree aziendali, ma possono invece essere raggruppate ed effettuate, già dalle fasi iniziali del processo di sviluppo, da individui facenti parte di specifiche funzioni dedicate alla loro esecuzione. Questi strumenti permettono infatti di espletare un gran numero di compiti con maggiore accuratezza. Quelli che si rivelano direttamente connessi tra loro si possono dunque portare a termine tramite la formazione di gruppi di lavoro composti da soggetti con capacità diversificate.

Apportare tutte queste fondamentali modifiche all'interno di un'organizzazione, abituata magari da anni a operare con determinate regole, può risultare tuttavia decisamente complicato. I manager possono incontrare due principali ostacoli nell'attuazione di tali mutamenti: la resistenza al cambiamento di alcune influenti aree aziendali e gli elevati sforzi richiesti a progettisti e manager stessi per raggiungere un adeguato livello di apprendimento.

In conclusione, l'implementazione della tecnologia digitale 3D CAD nel corso del ciclo di sviluppo di un nuovo prodotto, assume un'importanza cruciale nel sostenere la creazione di nuova conoscenza e nel garantire un costante scambio di utili informazioni tra i vari tecnici di progettazione. Se inserita correttamente all'interno del contesto organizzativo, può, inoltre, permettere all'impresa un considerevole miglioramento delle performance del processo e un notevole ritorno sotto il profilo economico.

A oggi, la sua adozione da parte delle imprese risulta capillare e il suo impiego si dimostra fondamentale per l'esecuzione di qualsiasi attività di progettazione. Questo strumento ha conseguito una straordinaria diffusione già a partire dalla fine degli anni Novanta e da allora ha continuato a mantenere un ruolo indispensabile all'interno del processo di sviluppo di nuovi prodotti.

Sebbene le sue caratteristiche tecnico-funzionali vengano costantemente aggiornate e migliorate, si trova nella fase di piena maturità e i suoi utilizzatori hanno una completa comprensione di quali siano i potenziali vantaggi che possono ottenere dal suo corretto impiego.

Tabella 6. Principali vantaggi, svantaggi, complessità, impatti a livello organizzativo e sulle competenze aziendali derivanti dall'implementazione dei sistemi 3D CAD³⁴.

	Sistemi 3D CAD
Principali vantaggi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Riduzione dei tempi e costi di sviluppo ➤ Aumento della qualità di prodotto ➤ Visualizzazione completa del prodotto da ogni prospettiva ➤ Elevata precisione nella definizione delle forme ➤ Possibilità di effettuare direttamente o tramite altri software specifiche simulazioni funzionali di prodotto ➤ Preliminare valutazione dell'idoneità della configurazione di prodotto e dell'ipotizzabile assemblaggio delle varie componenti ➤ Maggiore e migliore comunicazione tra i membri delle diverse funzioni ➤ Generazione di nuova conoscenza e conseguente realizzazione di prodotti innovativi ➤ Tempestiva rilevazione degli errori di progettazione, possibilità di apportare adeguate modifiche e minore ricorso alla costruzione di prototipi fisici
Principali svantaggi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elevati costi di investimento e mantenimento (licenze) ➤ Maggiore consumo di tempo nella creazione del modello 3D rispetto alla realizzazione del disegno 2D
Impatti organizzativi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Propedeutico all'introduzione di un approccio di tipo abduttivo per le attività di <i>problem-solving</i> ➤ Propedeutico all'adozione dell'approccio di <i>concurrent engineering</i> ➤ Cambiamento dell'ottica aziendale da una massimizzazione dei risultati della singola funzione alla massimizzazione di quelli dell'intero processo ➤ Svolgimento delle mansioni di sviluppo da parte di funzioni dedicate
Ostacoli	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Possibile resistenza al cambiamento da parte di alcune influenti aree aziendali ➤ Elevati sforzi richiesti a progettisti e manager per raggiungere un adeguato livello di apprendimento
Impatti sulle competenze	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Necessità di abbandonare alcune abilità legate alla modellazione 2D ➤ Esigenza di sviluppare nuove capacità di progettazione 3D, analisi e interpretazione dei dati provenienti dalle altre funzioni aziendali

³⁴ Elaborazione personale su varie fonti citate in note precedenti.

2.3 La rivoluzione delle stampa 3D

L'avvento dei sistemi di modellazione virtuale 3D ha decisamente trasformato l'approccio delle imprese all'esecuzione della fase di prototipazione di nuovi prodotti. Come esaminato e più volte ribadito nei paragrafi precedenti, tali tecnologie consentono di ottenere importanti vantaggi e garantiscono un rilevante risparmio di tempo e denaro, riducendo la necessità di ricorrere alla costruzione di prototipi fisici. Nonostante ciò, la realizzazione concreta di modelli di prodotto continua a ricoprire un ruolo fondamentale nell'assicurare la creazione di articoli di qualità che espletino correttamente le funzioni previste. Questo step del processo di sviluppo si protrae per un considerevole lasso temporale e richiede, per il suo svolgimento, elevati investimenti in termini economici.

È per far fronte a tali problematiche che negli ultimi trent'anni si è assistito alla nascita e alla continua evoluzione di nuove metodologie di prototipazione rapida, le quali permettono di realizzare oggetti fisici tridimensionali a partire da una loro rappresentazione virtuale effettuata tramite sistemi 3D CAD. Questi prototipi si possono stampare attraverso molteplici tipologie di macchinari e consentono, a seconda dei casi, la diminuzione o la completa eliminazione del ricorso alle tradizionali tecniche di prototipazione quali, la costruzione manuale dei modelli di prodotto o di alcune sue componenti da parte di artigiani specializzati, nonché l'utilizzo, sempre a tal fine, di particolari macchine di foratura, tornitura, fresatura e a controllo numerico. Tali modalità garantiscono la creazione di oggetti altamente performanti, contraddistinti da una notevole precisione nelle forme e negli elementi di dettaglio.

La svolta avviene nel 1983, quando l'ingegnere Charles Hull, stanco dei lunghi tempi di attesa e dei significativi esborsi economici che caratterizzavano gli stadi successivi al completamento della fase di progettazione degli articoli, inventa la prima macchina basata sulla tecnica della Stereolitografia (che verrà spiegata nel prosieguo del paragrafo), capace di velocizzare drasticamente lo step di prototipazione. Da quel momento detta tecnologia comincia il suo cammino di sviluppo diffondendosi rapidamente in molti contesti industriali e non, tra cui spiccano i settori *automotive* e aerospaziale.

Il processo di evoluzione di tale strumento può essere ripartito in tre stadi principali. Nel primo, esso veniva esclusivamente impiegato per la celere creazione di prototipi e

questa risulta, ancora oggi, la sua prevalente applicazione.

Il secondo periodo prende avvio a seguito dei continui miglioramenti ai requisiti di funzionamento apportati negli anni dalle aziende produttrici dei macchinari, che hanno consentito alle imprese clienti di utilizzarli per la diretta produzione di alcuni prodotti finiti (*rapid manufacturing*).

La terza e ultima fase dell'iter di sviluppo in questione è quella che si sta palesemente manifestando in questi ultimi tempi, principalmente a seguito della scadenza dei primi brevetti, dove si sta assistendo al progressivo emergere di nuove stampanti a basso costo per uso domestico del consumatore.

Si procederà ora all'analisi degli attributi fondamentali che qualificano tale tecnologia, concentrando comunque l'attenzione prevalentemente sugli aspetti che riguardano l'attività di prototipazione rapida³⁵.

Il principio cardine su cui si fonda la stampa 3D, differenziandola totalmente dalle tradizionali tecniche di realizzazione dei prototipi esplicitate in precedenza, è rappresentato dal concetto di "manifattura additiva". I modelli fisici vengono infatti creati posizionando, uno sopra l'altro, strati successivi di materiale fino all'ottenimento della configurazione desiderata. Al contrario, l'impiego degli abituali macchinari di produzione conduce alla costruzione di oggetti attraverso la sottrazione di materiale da un intero blocco ("manifattura sottrattiva"). Prima di passare in rassegna tutti i potenziali vantaggi derivanti dall'introduzione della stampa 3D, conseguibili da una qualsiasi impresa, è utile analizzare i vari passaggi necessari alla generazione di un prototipo per mezzo di tale strumento e le varie tipologie di macchinari disponibili sul mercato.

È innanzitutto indispensabile disporre di una rappresentazione 3D del prodotto, solitamente eseguita con i comuni sistemi CAD o attraverso la tecnica del *reverse engineering*. Quest'ultima viene adottata quando il team, non disponendo di un modello matematico 3D, procede con appositi strumenti alla scansione della superficie dell'oggetto fisico reale, la quale viene in seguito elaborata al fine di ricavare la sua effettiva rappresentazione in CAD. Dopo avere verificato l'assenza di errori, il modello virtuale viene salvato in un formato file standard definito "STL" e poi suddiviso, tramite l'utilizzo di particolari software, in molteplici sezioni trasversali. Lo step successivo

³⁵ BERMAN BARRY, *3-D printing: The new industrial revolution*, Business Horizons 55, Elsevier, 2012, p. 158-159.

consiste nell'inviare il file definitivo alla macchina di stampa, la quale comincerà a realizzare l'articolo sovrapponendo i diversi strati di materiale. L'ultimo passo prevede di rimuovere i residui di materiale in eccesso e apportare eventuali miglioramenti al prototipo generato. L'impiego delle stampanti 3D professionali richiede alle imprese di investire elevate risorse per istruire i propri progettisti sulle modalità d'uso, nonché sui vantaggi e potenziali rischi che caratterizzano questa tecnologia, attraverso specifici corsi di formazione. Queste figure devono infatti essere precisamente informate relativamente alle procedure da compiere e alle questioni di sicurezza personale (legate principalmente all'utilizzo di particolari materiali nocivi) al fine di evitare ingenti sprechi di risorse e il manifestarsi di situazioni di pericolo.

2.3.1 Principali tecniche di stampa

A oggi è disponibile sul mercato una grande varietà di macchinari potenzialmente acquistabili dalle imprese e che si differenziano a seconda del tipo di materiale utilizzato per la costruzione dell'oggetto e delle diverse modalità di posizionamento degli strati uno sopra l'altro. I più importanti produttori di stampanti 3D a livello mondiale sono: Stratasys, 3D Systems, Arcam, Eos e ExOne, mentre in Italia è l'azienda Digital Wax System a prevalere sulla concorrenza. Le principali categorie di macchinari maggiormente adoperate dalle imprese per le loro attività di prototipazione e, in alcuni casi di produzione, si fondano sull'impiego di tre tecniche: la *Stereolithography* (SLA), la *Fused Deposition Modeling* (FDM) e la *Selective Laser Sintering* (SLS) (Tabella 7).

La prima è basata sulla fotopolimerizzazione di una resina la quale si presenta inizialmente allo stato liquido e viene poi indurita per effetto del passaggio selettivo di un raggio laser ultravioletto, specificamente indirizzato da un apposito sistema di specchi sul piatto di stampa. Una volta completata la polimerizzazione della prima sezione, tale piano si abbassa o si alza, a seconda del tipo di stampante, per consentire la realizzazione dello strato successivo. Nel caso la geometria del prototipo si riveli assai complessa, può rendersi necessario utilizzare particolari strutture di sostegno che verranno rimosse al termine del ciclo di stampa. Dopo aver ultimato la creazione del prototipo, questi viene ulteriormente sottoposto all'effetto della luce ultravioletta al fine di concludere definitivamente il processo di fotopolimerizzazione. La *Stereolithography* è la tecnica più precisa e viene infatti generalmente impiegata per la creazione di oggetti di dimensioni ridotte e per effettuare valutazioni del prodotto di carattere estetico. Le

prestazioni funzionali garantite dalla resina, soprattutto in termini di resistenza (ad esempio al calore), risultano invece inferiori rispetto a quelle assicurate da macchinari che utilizzano altri materiali. All'interno di questa categoria esistono diverse varianti (*Polyjet, Multi Jet Modeling, Multi Jet Printing, ecc...*) che si differenziano in qualche aspetto dalla tecnologia SLA, ma che si basano comunque sui suoi principi cardine di funzionamento.

La seconda metodologia, nata nei primi anni Novanta, è la *Fused Deposition Modeling*. Impiega diverse tipologie di materiali plastici, sotto forma di filo srotolato da una bobina, i quali vengono estrusi attraverso una testina di stampa riscaldata e depositati selettivamente (dunque solo dove si ha bisogno) sul piano di lavoro. Anche in questa circostanza si rende necessario l'uso di strutture di supporto che saranno eliminate una volta completata la stampa. Tale tecnologia, pur risultando meno precisa rispetto agli altri tipi di macchinari, permette di realizzare in tempi rapidi oggetti molto resistenti e di ridurre significativamente, grazie alle sue modalità di funzionamento, lo spreco di materiale. La tecnica FDM si è notevolmente sviluppata negli anni e attualmente è la categoria di stampanti maggiormente adottata dai cosiddetti "*Makers*", ovvero gli artigiani digitali che si impegnano nella creazione di prodotti "fai da te".

La terza principale classe di macchinari si basa sulla tecnologia denominata *Selective Laser Sintering*, la quale utilizza come materia prima della polvere che viene sinterizzata tramite l'azione di un raggio laser. Il materiale, al contrario delle altre due categorie sopra analizzate, viene innanzitutto steso sull'intero piatto di stampa e poi indurito dal passaggio del laser che ne aggrega le molecole solamente nei punti necessari. Al termine del processo si ottiene dunque un blocco di polvere che funge da struttura di sostegno al cui interno si trova l'oggetto realizzato. Il materiale in eccesso deve essere rimosso e può venire in gran parte riadoperato nella creazione di ulteriori prototipi. Tale tecnica si colloca a un livello intermedio, in termini di precisione, rispetto alle due citate in precedenza e risulta più lenta soprattutto nei confronti di quella FDM, poiché utilizza una quantità di materia prima superiore. Tuttavia l'uso di questa tipologia di macchinari permette di sfruttare maggiori economie di scala e di ridurre conseguentemente i relativi costi nel caso di costruzione di un elevato numero di pezzi. Attraverso detta tecnologia è possibile generare anche prototipi in metallo (*Direct Metal Laser Sintering*) tramite l'impiego di particolari varietà di polvere (come ad esempio quella di alluminio), che però richiedono alti investimenti economici per la loro acquisizione. In generale, i

modelli prodotti con la tecnica SLS si rivelano molto resistenti e ciò consente anche di creare direttamente articoli finiti pronti per l'uso³⁶.

Tabella 7. Caratteristiche basilari delle tre principali tecniche e categorie di macchinari³⁷.

Caratteristiche principali	<i>Stereolithography (SLA)</i>	<i>Fused Deposition Modeling (FDM)</i>	<i>Selective Laser Sintering (SLS)</i>
Materiale impiegato	Resina	Materiali plastici	Polvere
Tecnica utilizzata	Fotopolimerizzazione	Estrusione	Sinterizzazione
Ulteriori strutture di supporto	Si	Si	No
Livello di precisione	Più precisa +/- 5 cent. di mm.	Meno precisa +/- 2 decimi di mm.	Intermedia +/- 1 decimo di mm.
Livello di resistenza prototipo	Meno resistente	Intermedia	Più resistente
Tempi di realizzazione	Intermedia	Più rapida	Meno rapida

Sebbene queste categorie di macchinari risultino quelle maggiormente utilizzate da parte delle imprese, il mercato offre, oltre a numerose loro sotto-versioni, un'ampia varietà di ulteriori tecnologie basate su diversi principi di funzionamento. Le più importanti sono il metodo *Laminated Object Manufacturing (LOM)*, che impiega come materiale speciali fogli di carta e viene solitamente adoperato per la realizzazione di prototipi di elevate dimensioni; e la tecnica denominata *3D Printing (3DP)*, la quale fa invece uso di particolari polveri che vengono aggregate, in fase di stampaggio, grazie all'applicazione di uno specifico collante, assicurando così un'ottima qualità complessiva dell'oggetto finale.

A livello generale, a seconda delle proprie esigenze, il team può servirsi di numerose varianti di materiale per la costruzione di prototipi e prodotti finiti, oltre a quelle menzionate finora, quali ad esempio la ceramica, il titanio e diverse leghe metalliche.

³⁶ KRUNIC SINISA, PERINIC MLADEN, MARICIC SVEN, *Rapid Prototyping Application*, Engineering Review, 2010, p. 91 e ss.

³⁷ Elaborazione personale su fonte: KRUNIC SINISA, PERINIC MLADEN, MARICIC SVEN, *cit.*, p. 91 e ss.

2.3.2 Vantaggi d'implementazione e connessi cambiamenti organizzativi

Dopo aver esaminato le caratteristiche funzionali delle principali macchine di stampa 3D, è ora importante approfondire i potenziali vantaggi che possono scaturire per l'impresa dalla loro adozione, nonché i punti di debolezza che le contraddistinguono. Al fine di chiarire questi aspetti con maggiore precisione, innanzitutto si procederà ad analizzare l'impatto generato dall'introduzione di tali tecnologie sul generale processo di prototipazione per poi valutare successivamente le conseguenze derivanti dalla loro applicazione anche nel corso dello step di produzione (vedi Tabella 8). Alcuni di questi effetti potranno riferirsi in egual modo a entrambi i processi in questione.

Come già esplicitato, il contributo decisivo della stampa 3D è fornito ancora oggi nella realizzazione di prototipi fisici, nonostante il suo futuro sembri indirizzato verso un utilizzo sempre più considerevole durante lo svolgimento del ciclo produttivo. Il beneficio più evidente si ravvisa nella notevole diminuzione dei costi e dei tempi associati alla costruzione dei modelli, il che consente di effettuare un più elevato numero di test del prodotto sia in laboratorio, sia tra il pubblico di consumatori. Ciò comporta inevitabilmente la riduzione del cosiddetto *time to market*, il quale può rivelarsi un fattore determinante nel conseguimento di un vantaggio competitivo nei confronti della concorrenza. Permette inoltre la tempestiva rilevazione di eventuali errori commessi in fase di progettazione, limitando dunque l'incertezza che la caratterizza e diminuendo sensibilmente il conseguente impatto economico. L'accertamento di un problema in fase di produzione o negli stadi immediatamente precedenti provoca, infatti, un aumento esponenziale degli oneri da sostenere per risolverlo.

Un esempio lampante di quanto appena illustrato è costituito dalla famosa azienda italiana "Alessi", produttrice di articoli per la casa, che ha tratto grandi benefici dall'adozione della tecnologia in questione nel corso dello svolgimento dello step di prototipazione. I manager dell'impresa hanno infatti affermato che la sua implementazione ha causato una riduzione della durata del processo di sviluppo di cinque/sei settimane, abbattendo i costi relativi alla creazione dei prototipi di circa il 70%³⁸.

Un ulteriore fondamentale vantaggio è direttamente riconducibile al concetto di "manifattura additiva" e può essere associato all'utilizzo della stampa 3D sia durante il

³⁸ BERMAN BARRY, *cit.*, p. 160.

processo di prototipazione, sia durante quello di produzione. La generazione di un prototipo o di un articolo finito, strato dopo strato, garantisce infatti la possibilità di pensare e concepire oggetti dalle geometrie molto complesse che non risulterebbero realizzabili con le tradizionali tecniche di produzione oppure richiederebbero un rilevante investimento per la loro costruzione. In quest'ultimo caso, ad esempio, le aziende preferiscono spesso rivedere la configurazione del prodotto e renderla più semplice, piuttosto di sopportare il rischio di sprecare ingenti risorse. I progettisti possono pertanto dare sfogo alla loro creatività, immaginando nuove forme che massimizzino anche le prestazioni dell'articolo con la possibilità di testarle ripetutamente. I costi legati al riattrezzaggio dei macchinari sono praticamente nulli e tale condizione consente di rivalutare, modificare e testare più volte i requisiti del prodotto senza incorrere in eccessive spese aggiuntive, migliorandolo continuamente. Al contrario, con l'utilizzo dei tradizionali macchinari sarebbe ogni volta necessario riconfigurarli o generare degli appositi stampi per creare le differenti versioni dei prototipi e verificare il loro funzionamento. Lo stesso discorso può valere per lo step di produzione, considerato che le macchine solitamente impiegate a tale scopo non sempre permettono la realizzazione di articoli dalle geometrie complesse. Anche in questo caso, l'utilizzo della stampa 3D per la costruzione di oggetti finiti assicura effetti positivi a monte, in quanto offre l'opportunità ai progettisti, durante le fasi di sviluppo, di inventare design altamente creativi e innovativi, eliminando stringenti vincoli di progettazione. È così che possono nascere originali opportunità di mercato e nuove fonti di vantaggio competitivo.

Tale tecnologia permette inoltre di risparmiare ulteriori significative risorse in termini economici e di tempo poiché non risulta necessario eseguire l'assemblaggio del prototipo che viene realizzato come un unico blocco, anche nella circostanza in cui presenti componenti mobili. L'utilizzo di una rappresentazione CAD come punto di partenza per la generazione dei prototipi tramite la stampa 3D, oltre a garantirne la corrispondenza con l'intento dei progettisti, riduce il bisogno di ricorrere a frequenti interazioni tra i membri del team di sviluppo e gli addetti alla produzione del modello, rendendo al contempo più semplice (come spiegato nel paragrafo precedente) il coordinamento e la condivisione di informazioni tra queste due funzioni aziendali.

L'organizzazione del processo di progettazione e prototipazione subisce dunque notevoli cambiamenti poiché viene drasticamente limitato l'intervento da parte dell'area

di produzione nella realizzazione dei modelli prototipali. I progettisti possono infatti eseguire tutte le operazioni necessarie alla loro costruzione, considerato il collegamento e il diretto invio dei dati tra i software impiegati per la creazione tridimensionale dell'oggetto e la stampante 3D. Ciò consente di eliminare, in pratica, una fase del processo con considerevoli risparmi di tempo e risorse economiche.

Come più volte affermato, l'attenzione delle imprese si sta sempre più focalizzando sulle notevoli opportunità derivanti dalla fruizione della stampa 3D durante lo step di produzione di parti o articoli finiti. Tra le principali realtà imprenditoriali che si sono rese protagoniste di tale nuova modalità di implementazione, si ravvisano quelle appartenenti ai settori *automotive* e aerospaziale, per la costruzione di componenti destinate a particolari vetture di alta fascia e aeromobili, nonché quelle impegnate nella fabbricazione di gioielli e di protesi ortodontiche, acustiche e ortopediche.

Ora verranno analizzati nel dettaglio i fondamentali vantaggi legati a tale diversa applicazione nella consapevolezza, però, che si renderanno indispensabili ancora rilevanti sviluppi futuri prima di raggiungere una sua estesa e stabile attuazione nel corso del ciclo produttivo.

Il primo beneficio è rappresentato dalla possibilità di generare in piccole quantità prodotti maggiormente complessi, più leggeri a parità di proprietà fisiche di resistenza e personalizzati a seconda delle richieste dei consumatori, aspetti questi che influenzano positivamente la loro disponibilità a pagare un prezzo superiore per l'acquisto. Questa caratteristica porta al cambiamento dei principi organizzativi del processo produttivo, spingendo l'azienda verso l'adozione di un approccio *design-to-order* o *make-to-order* e consentendo pertanto la progettazione e la realizzazione degli articoli solo nel momento in cui viene ricevuto l'ordine da parte del cliente. Ciò permette di limitare in modo significativo la presenza di prodotti finiti invenduti all'interno del magazzino e di diminuire sensibilmente i costi legati alla sua gestione. Tutti questi fattori costituiscono i presupposti cardine della prospettiva di *lean production* e ne favoriscono pertanto l'applicazione all'interno dell'ambiente aziendale.

L'impiego della stampa 3D può dunque rivelarsi un'ottima soluzione per rispondere alle esigenze di consumatori appartenenti a segmenti di nicchia, caratterizzati da un'elevata eterogeneità nelle preferenze. Il suo utilizzo dà la possibilità di fronteggiare l'incertezza che contraddistingue tali mercati e di ottenere un vantaggio competitivo nei confronti dei concorrenti.

Come anticipato in precedenza relativamente alla fase di prototipazione, anche la realizzazione di diverse varianti di prodotto durante lo step di produzione non richiede alcun particolare riattrezzaggio dei macchinari e l'esecuzione di nessuna (o pochissime) attività di assemblaggio. Al contrario delle tradizionali tecniche di "manifattura sottrattiva", la stampa 3D assicura poi un minore scarto e spreco di materiale. Anche quello in eccesso viene infatti in gran parte riciclato e riadoperato per la creazione dei successivi oggetti.

Un altro importante vantaggio è ravvisabile nel fatto che tale tecnologia, rendendo possibile una semplice e veloce condivisione del design di prodotto anche con eventuali altre aziende collaboratrici, facilita il ricorso all'*outsourcing* della produzione verso quelle imprese che la adottano o direttamente verso i consumatori che ne possiedono una.

Tabella 8. Principali vantaggi derivanti dall'impiego della stampa 3D durante le fasi di prototipazione e produzione³⁹.

Vantaggi	Prototipazione	Produzione
Diminuzione costi di realizzazione	✓	
Diminuzione tempi di realizzazione	✓	
Diminuzione <i>time to market</i>	✓	
Creazione geometrie complesse (+ creatività)	✓	✓
Assenza operazioni di riattrezzaggio macchine	✓	✓
Assenza (o quasi) operazioni di assemblaggio	✓	✓
Coordinamento più semplice tra le funzioni	✓	✓
Prodotti più leggeri a parità di resistenza		✓
Maggiore personalizzazione		✓
Meno scorte di prodotto		✓
Meno scarti e sprechi di materiale	✓	✓

³⁹ Elaborazione personale su fonte: BERMAN BARRY, *cit.*, p. 155 e ss.

2.3.3 Punti di debolezza e potenziali sviluppi futuri

L'introduzione della stampa 3D all'interno del contesto aziendale è dunque in grado di apportare radicali cambiamenti nelle modalità di esecuzione della fase di prototipazione ed eventualmente anche in quelle relative al ciclo produttivo. Nonostante i benefici derivanti dal suo impiego siano considerevoli, essa presenta ancora alcuni punti di debolezza che ne limitano la definitiva consacrazione (riassunti insieme ai cambiamenti indotti a livello organizzativo e sulle competenze aziendali in Tabella 9).

Il primo importante svantaggio è costituito dall'elevato esborso richiesto alle imprese per l'acquisto di un adeguato macchinario. Per poter usufruire di una stampante dalle ottime prestazioni sotto il profilo della precisione e della qualità degli oggetti creati, è necessario investire un'ingente somma che può risultare proibitiva per alcune piccole e medie realtà industriali. Questo è oggi uno degli aspetti fondamentali che ostacolano profondamente lo sviluppo di tale tecnologia tra le aziende.

Il secondo punto debole è rappresentato dall'impossibilità di costruire prototipi o articoli di grandi dimensioni. La grandezza degli oggetti può infatti variare fino a poco più di circa un metro cubo a seconda del tipo di macchinario. Una possibile soluzione a detto problema è quella di creare diverse parti e componenti per poi procedere, in un secondo momento, al loro assemblaggio. Tale attività richiede tuttavia un allungamento delle tempistiche di realizzazione e un incremento delle spese annesse.

Un'ulteriore limitazione si riscontra nel costo e nella natura dei materiali adoperati per la costruzione dei modelli. I materiali, infatti, non sempre corrispondono a quelli effettivamente impiegati in fase di produzione e le possibilità di scelta da parte delle imprese in tal senso sono ancora abbastanza esigue. Ciò può portare alla generazione di prototipi dalle caratteristiche diverse in fatto di colore, requisiti tecnici, ecc..., rispetto a quelle dei prodotti finali che verranno successivamente fabbricati, aumentando il conseguente rischio di effettuare valutazioni errate. Inoltre, il loro costo si rivela decisamente elevato, se comparato con gli oneri legati all'acquisto delle materie prime solitamente utilizzate dai tradizionali macchinari produttivi.

Un altro svantaggio, direttamente collegato al funzionamento dei macchinari e alle tipologie di materiali a disposizione delle aziende per l'esecuzione del ciclo di stampa, consiste nella minore resistenza a stress, sollecitazioni, calore, umidità, ecc..., dei prototipi o articoli realizzati con questa tecnica. Detta circostanza implica quindi una maggiore probabilità del verificarsi di impreviste rotture.

L'ultimo punto di debolezza, ma non meno importante, riguarda il grado di accuratezza delle macchine di stampa 3D. Quelle impiegate in campo industriale, a seconda del loro modello, hanno un livello di precisione che si aggira attorno al decimo di millimetro, valore che dovrebbe migliorare di circa dieci volte per sostenere un confronto alla pari con le tradizionali tecnologie. Tale condizione, che può considerarsi sostanzialmente accettabile per la creazione di un prototipo, non può essere altrettanto ammissibile nella produzione di un articolo finito.

La stampa 3D si dimostra dunque un ottimo strumento tutt'ora fortemente adottato per la realizzazione di prototipi da sottoporre a diversi possibili test di laboratorio e non. I suoi vantaggi vengono garantiti nel corso della fase di prototipazione e assumono un'importanza cruciale; oggi, un numero sempre maggiore di imprese la utilizza per ottimizzare il processo in questione. Il percorso di sviluppo di questa tecnica sta tuttavia procedendo verso una più ampia e frequente sua applicazione anche durante gli step produttivi, per la cui completa affermazione si dovrà però attendere un ulteriore significativo miglioramento dei requisiti tecnico-funzionali. È infatti necessario che aumenti la precisione assicurata dai vari macchinari e che diminuisca sensibilmente il costo relativo al loro acquisto e a quello dei materiali. La disponibilità di nuove materie prime dotate di una maggiore resistenza alle diverse sollecitazioni costituirà un altro fondamentale progresso in tal senso.

Come evidenziato in precedenza, il suo impiego garantisce grandi benefici all'interno di quei mercati contraddistinti da una forte domanda di prodotti personalizzati e realizzati su piccola scala. Al contrario, in contesti caratterizzati dalla richiesta di un'elevata quantità di articoli standard, tale tecnologia, attualmente, perde il confronto con le tradizionali tecniche di fabbricazione. Questo è anche dovuto alla ridotta presenza di economie di scala, quindi, al crescere della produzione, i costi aumentano seguendo un andamento quasi lineare. Ciò comporta che, per la produzione di un basso numero di pezzi, l'impiego della stampa 3D si rivela favorevole, ma oltre una certa quantità di oggetti da creare la sua adozione risulta di gran lunga sconveniente dal punto di vista economico.

Tabella 9. Punti di debolezza e impatti a livello organizzativo e sulle competenze aziendali derivanti dall'implementazione della stampa 3D nelle diverse fasi di utilizzo⁴⁰.

		Prototipazione	Produzione
Punti di debolezza	Alti costi di investimento per l'acquisto dei macchinari	✓	✓
	Impossibilità di costruire oggetti di grandi dimensioni (possibile solo attraverso l'assemblaggio di varie componenti)	✓	✓
	Elevati costi dei materiali	✓	✓
	Materiali limitati nella scelta e non ancora performanti	✓	✓
	Oggetti meno resistenti	✓	✓
	Tempi di realizzazione elevati		✓
	Livello di precisione non massimale		✓
	Basse economie di scala e impossibilità di realizzare un elevato numero di oggetti		✓
Impatti a livello organizzativo e sulle competenze aziendali	Necessità di formare i progettisti e tecnici sulle modalità d'uso e sui rischi connessi	✓	✓
	Limitato ricorso alla funzione di produzione per la realizzazione del prototipo	✓	
	Adozione di un approccio <i>design-to-order</i> o <i>make-to-order</i> (<i>lean production</i>)		✓
	Più semplice ricorso all' <i>outsourcing</i> della produzione		✓
	Possibile futura ricollocazione centri produttivi		✓
	Possibile futura diminuzione del ricorso al personale addetto alla produzione degli oggetti (competenze obsolete)		✓

⁴⁰ Elaborazione personale su varie fonti citate in note precedenti.

Dopo aver affinato gli attributi di tale strumento e grazie ai vantaggi da esso offerti, in futuro, si potrà aprire la prospettiva di ricollocare e decentrare i centri produttivi nelle vicinanze dei punti di consumo, rinunciando così alle politiche di delocalizzazione verso i paesi a basso costo del lavoro, considerato anche il ridotto bisogno di intervento umano necessario durante il suo utilizzo. Quest'ultimo fattore potrebbe potenzialmente portare alla progressiva diminuzione dell'impiego di maestranze dedicate allo svolgimento delle fasi di produzione con conseguenti significativi effetti positivi a livello organizzativo ed economico. Ciò garantirebbe quindi ulteriori benefici alle imprese, ma potrebbe far nascere, al contempo, alcune problematiche di carattere sociale, in quanto le competenze di tali figure professionali diverrebbero obsolete, inadeguate e non più necessarie, venendosi così a generare situazioni di esubero di personale e disoccupazione.

Si assisterà inoltre, sempre più, alla diffusione delle stampanti di tipo domestico tra il pubblico di consumatori e la condivisione tramite il Web dei design di prodotto, se adeguatamente supportata e protetta, consentirà al cliente stesso di creare l'oggetto desiderato direttamente in casa propria.

Un'indagine di Fondazione Nord Est e di Prometeia del 2015 ("Il 1° rapporto sull'impatto delle tecnologie digitali nel sistema manifatturiero italiano"), effettuata su mille imprese italiane con un fatturato superiore al milione di euro, ha posto in evidenza come il tasso di diffusione e impiego durante le attività di prototipazione e produzione della stampa 3D, comprese nel campione di riferimento, sia pari al 25%, percentuale destinata a crescere rapidamente negli anni. Soprattutto le piccole e medie aziende appartenenti ai settori del gioiello, dei metalli preziosi, del dentale, dei mezzi di trasporto, della gomma e plastica, del legno e mobilio, della metallurgia e della moda, si rivelano le protagoniste principali del significativo sviluppo di tale tecnologia nel nostro Paese ⁴¹.

La stampa 3D sta dunque vivendo una fase di veloce espansione e nei prossimi anni si prevede che le sue applicazioni aumenteranno ulteriormente in particolare in ambito medico e scientifico oltre che a diffondersi all'interno di nuovi contesti industriali.

⁴¹ FONDAZIONE NORD EST, PROMETEIA, *Il 1° rapporto sull'impatto delle tecnologie digitali nel sistema manifatturiero italiano*, Fondazione Make in Italy, 2015.

2.4 Realtà Virtuale e Realtà Aumentata

Come più volte ribadito, le imprese d'oggi non possono più fare a meno dell'utilizzo di tecnologie innovative di modellazione e simulazione digitale nel corso della fase di sviluppo di nuovi prodotti. Queste si rivelano fondamentali nell'analizzare e valutare il funzionamento e le principali caratteristiche tecniche di un articolo, operazioni che richiederebbero un consumo di tempo e denaro decisamente superiore se eseguite esclusivamente attraverso la costruzione di prototipi fisici. Esse consentono inoltre di progettare soluzioni molto più originali, fattore che rappresenta uno dei presupposti essenziali per l'ottenimento di vantaggi competitivi. I tradizionali sistemi 3D CAD permettono la visualizzazione del prodotto, ma non sempre consentono la verifica dei suoi elementi funzionali e di entrare effettivamente in contatto con esso.

È per far fronte a tali problematiche e per migliorare il complessivo ciclo di progettazione di un articolo che, da qualche anno, si sono diffuse due nuove tecnologie che favoriscono la concreta manipolazione del modello digitale e la simulazione di alcuni suoi aspetti, denominate rispettivamente "Realtà Virtuale" e "Realtà Aumentata".

Questi strumenti non hanno ancora raggiunto un livello di maturità adeguato per una loro completa e precisa implementazione all'interno del processo di elaborazione di un prodotto, ma possono risultare comunque già validi per lo svolgimento di alcune importanti attività. In prospettiva ci si può attendere una loro notevole applicazione per la simulazione virtuale del comportamento degli oggetti e delle diverse fasi di progettazione, produzione, assemblaggio e manutenzione che li riguardano. I continui progressi, relativi ai requisiti dei software applicativi e alle potenzialità dei calcolatori in termini di grafica, memoria e velocità, costituiscono le prerogative indispensabili per raggiungere un appropriato livello di realismo e per garantire quindi la definitiva affermazione dei suddetti sistemi. Varie imprese appartenenti al settore *automotive*, aeronautico, spaziale e più in generale dei trasporti, vista la complessità che caratterizza l'esecuzione dei loro cicli di sviluppo, hanno cominciato negli ultimi anni a investire considerevoli risorse economiche nell'impiego di dette tecnologie al fine di migliorare l'efficienza del processo e la qualità dei prodotti generati.

In questo paragrafo saranno analizzati, nel dettaglio, le principali caratteristiche e i potenziali fondamentali vantaggi derivanti dall'utilizzo della Realtà Virtuale e della Realtà Aumentata durante lo svolgimento degli step di elaborazione e in particolare di

prototipazione di un nuovo articolo. Si procederà all'esame distinto dei due strumenti, ponendone in evidenza le essenziali differenze.

2.4.1 Realtà Virtuale: iter evolutivo e principi di funzionamento

La Realtà Virtuale, nonostante la sua adozione da parte delle imprese sia ancora in una fase embrionale, conta alcuni decenni di storia. Prima di procedere all'esposizione del percorso di diffusione di questa tecnologia, è utile darne un'esatta definizione. Tale strumento si serve dell'utilizzo di un calcolatore e di particolari software e hardware allo scopo di generare la simulazione di un ambiente, di oggetti e fenomeni alternativi, che devono tuttavia apparire reali agli occhi dell'utente. Perché detto contesto virtuale si riveli veritiero per l'utilizzatore, è necessario che quest'ultimo, interagendo tramite i suoi sensi con l'ambiente ricreato, risulti completamente immerso in esso e viva un'esperienza che si dimostri effettiva e credibile⁴². Al fine di raggiungere questo obiettivo, è indispensabile che i sistemi che determinano l'interazione tra uomo e calcolatore abbiano specifici attributi che saranno in seguito esplicitati.

Una delle prime applicazioni in tema di Realtà Virtuale è riconducibile al settore del tempo libero. Tra la fine degli anni Cinquanta e l'inizio dei Sessanta, il cineasta Morton Heilig inventa un simulatore virtuale dotato di luci, suoni, movimenti e odori, denominato "Sensorama", per ricreare un viaggio tra le strade di Brooklyn.

Il successivo passo verso l'evoluzione di tale tecnologia è riscontrabile nella creazione dei primi simulatori di volo adoperati per le esercitazioni militari che consentono ai piloti di accumulare pratica ed esperienza senza il rischio di perdere la vita.

Per l'ingresso di questo strumento nel mondo delle imprese è necessario attendere il 1968, quando viene creato da Ivan Sutherland il primissimo casco virtuale per la visualizzazione tridimensionale di un ambiente simulato, le cui immagini variano a seconda dei movimenti della testa compiuti dall'utilizzatore. È in tale periodo che alcune aziende aerospaziali iniziano a focalizzare la loro attenzione su come implementare questa tecnologia all'interno dei propri processi di progettazione e pianificazione delle missioni.

Con il progressivo miglioramento della potenza e dei requisiti dei calcolatori, alcune importanti imprese, verso la fine degli anni Ottanta, cominciano a commercializzare le

⁴² LU S. C-Y., SHPITALNI M., GADH RAJIT, *Virtual and Augmented Reality Technologies for Product Realization*, Annals of the CIRP, Keynote Papers, 1999, p. 473.

componenti hardware e software necessarie all'applicazione della Realtà Virtuale. Da quel momento, il suo impiego inizia a diffondersi in vari settori quali l'intrattenimento, l'educazione, la medicina, l'architettura, ecc... .

Perché l'ambiente virtuale, in cui l'utente risulta inserito, si riveli reale e veritiero, è indispensabile che sia caratterizzato da quattro fondamentali attributi: immersione, presenza, navigazione e interazione.

Con il primo si vuole indicare il grado di realismo avvertito dall'utilizzatore durante l'esperienza all'interno del contesto virtuale. Maggiore è la difficoltà dell'individuo di riconoscere ciò che è vero e ciò che non lo è, più elevato si dimostra il suo livello di coinvolgimento e conseguentemente di immersione. Tale caratteristica viene intensificata dall'impiego di adeguati segnali audio e dalla possibilità di ricevere risposte di natura tattile.

Il requisito della presenza, direttamente legato a quello dell'immersione, si riferisce alla sensazione percepita da parte dell'utente di trovarsi all'interno dell'ambiente virtuale. È fondamentale che questo rispetti le previsioni della persona e fornisca risposte in tempo reale perché non venga smarrito il senso di presenza al suo interno.

Il terzo importante attributo è quello della navigazione, che assicura all'utilizzatore la possibilità di muoversi ed esplorare i diversi aspetti ed elementi del contesto virtuale in cui si trova inserito.

L'interazione rappresenta la quarta e ultima caratteristica essenziale di tale sistema e si rifà alla capacità di toccare, modificare, spostare, ecc... gli oggetti presenti nella scena tridimensionale.

Il livello di queste proprietà può ovviamente mutare in base alle potenzialità dei calcolatori, software e hardware impiegati nella realizzazione dell'ambiente virtuale, le cui varianti saranno di seguito analizzate.

Il punto di partenza per la creazione di un contesto virtuale è rappresentato dalla realizzazione del suo modello digitale e di quello dei molteplici oggetti che lo andranno a comporre. Nel caso di utilizzo della Realtà Virtuale come supporto allo sviluppo di un nuovo articolo o processo, il modello del prodotto costituisce la base per l'elaborazione del sistema RV⁴³. Tutte le spiegazioni successivamente fornite fanno diretto riferimento a tale tipologia di impiego. Il sistema RV è formato da diversi elementi, molti dei quali

⁴³ Abbreviazione di Realtà Virtuale.

caratterizzano anche la Realtà Aumentata, in seguito approfondita, che permettono la corretta generazione, rappresentazione, manipolazione e simulazione del modello digitale in questione.

Al fine di creare e memorizzare tutti i dati ad esso relativi, è innanzitutto essenziale la presenza e l'uso di un ambiente di modellazione CAD. Le informazioni oggetto di queste operazioni possono riguardare particolari indicazioni di carattere geometrico e funzionale concernenti il prodotto e derivanti dallo svolgimento delle precedenti fasi di sviluppo e progettazione.

Per garantire all'utente di percepire sensazioni realistiche, è poi necessario che il modello offra conferme veritiere, corrispondenti all'effettivo comportamento del prodotto nel mondo reale. Ad esempio, quando viene lanciato un oggetto all'interno dell'ambiente virtuale, esso deve rispettare le leggi fisiche di gravità codificanti tale fenomeno durante la propria caduta. Date le elevate difficoltà che si riscontrano nel modellare opportunamente i vari elementi, diventa indispensabile sviluppare e servirsi di appropriate capacità di simulazione dinamica degli eventi attraverso l'impiego di idonee e potenti tecnologie.

La terza fondamentale componente è rappresentata dai dispositivi di input (vocali, tattili, di movimento, ecc...) i quali consentono all'utilizzatore di manipolare il modello digitale e di interagire in maniera naturale con esso e con il complessivo contesto virtuale. Questi strumenti devono permettere al sistema di cogliere e interpretare facilmente le intenzioni e le istruzioni provenienti dall'utente. Raggiungere detto scopo si rivela, tuttavia, un compito assai arduo e solo con il continuo sviluppo e miglioramento delle diverse tecnologie, sarà possibile conseguirlo. I dispositivi di input maggiormente adoperati sono dei particolari guanti, che permettono di impartire comandi e di manipolare gli oggetti digitali; questi stanno sempre più rimpiazzando altri strumenti come mouse e joystick.

L'ultimo basilare elemento necessario all'idonea implementazione della Realtà Virtuale è costituito dalla presenza di un adeguato e affidabile sistema di risposta e feedback all'utilizzatore. Gli strumenti in questione (output), al pari dei dispositivi di input, assicurano che l'esperienza vissuta dall'individuo risulti centrata su di lui, multisensoriale, interattiva e il più possibile immersiva. Anche tali feedback ricevuti dall'utente sono di carattere visivo, uditivo e tattile, e hanno l'obiettivo di far percepire

alla persona una profonda sensazione di realismo⁴⁴.

Come esplicitato in precedenza, la Realtà Virtuale (e anche la Realtà Aumentata) si basa sull'impiego di software e hardware allo scopo di garantire la corretta interazione tra computer e utente. I software consentono di elaborare definitivamente l'ambiente virtuale, nonché i diversi oggetti individuabili al suo interno. Dopo aver definito le caratteristiche geometriche e funzionali delle varie componenti servendosi dei sistemi CAD, tramite i suddetti programmi software è possibile ricreare il loro comportamento anche attraverso l'aggiunta di suoni associabili alle diverse situazioni.

Uno dei requisiti fondamentali, che impattano sul grado di realismo offerto da un sistema RV, è rappresentato dalla sua capacità di aggiornare velocemente e in modo automatico le immagini visualizzate dall'utilizzatore a seconda dei suoi movimenti e dei conseguenti cambiamenti del suo punto di vista. Tale attributo è assicurato dall'impiego di specifici strumenti di monitoraggio (hardware), basati sull'uso di un trasmettitore e di un sensore, che hanno lo scopo di identificare la posizione e gli spostamenti della testa, delle mani o addirittura dell'intero corpo dell'individuo. Le varie tecnologie disponibili per rilevare i movimenti dell'utente si possono fondare sull'emissione di onde elettromagnetiche, ultrasuoni o luce. Esistono inoltre sistemi meccanici basati, ad esempio, sul collegamento fisico tra un punto fisso e l'utilizzatore. L'eventuale mancata connessione tra gli spostamenti eseguiti dalla persona e la corretta visualizzazione delle immagini può rivelarsi un problema riconducibile a questi strumenti i quali si dimostrano dunque fondamentali nel favorire una valida navigazione e interazione da parte dell'utente.

Oltre a quelli impiegati per il monitoraggio del posizionamento della persona, gli ulteriori hardware necessari all'implementazione della Realtà Virtuale sono costituiti dai dispositivi di input e di output. Per quanto riguarda i primi si è già avuto modo di specificare in precedenza quali siano i sistemi maggiormente utilizzati, mentre per quel che concerne i secondi si procederà ora a una loro breve disamina.

I dispositivi ottici di output sono attualmente i più diffusi e i principali strumenti appartenenti a tale tipologia sono i visori (caschi o speciali occhiali) che consentono di isolare l'utente dal mondo esterno e di mutare la visualizzazione delle immagini a seconda dei movimenti della sua testa, fornendo quindi feedback visivi.

I dispositivi audio corrispondono alla seconda categoria e consistono spesso in semplici

⁴⁴ LU S. C-Y., SHPITALNI M., GADH RAJIT, *cit.*, p. 477.

auricolari che permettono all'individuo di ricevere risposte uditive.

L'ultima classe è rappresentata dai sistemi che offrono feedback di tipo tattile alla persona. Attraverso il loro impiego è possibile toccare e afferrare gli oggetti digitali percependo direttamente il contatto con essi. I dispositivi più adoperati a tale scopo sono sicuramente i guanti in precedenza citati, ma altri strumenti si stanno sviluppando rapidamente. Uno di questi è ancora in fase di sperimentazione, ma potrebbe costituire una svolta decisiva in numerose applicazioni della RV. Si tratta di una speciale tuta che avvolge l'intero corpo dell'utente consentendogli di ricevere feedback di carattere tattile a seconda di ciò che accade nell'ambiente virtuale. Quelle appena indicate rappresentano dunque le principali periferiche di cui si servono gli utilizzatori di questa tecnologia.

2.4.2 La RV nel processo di sviluppo di nuovi prodotti: applicazioni, benefici e limitazioni

Ritornando a quanto già affermato, una delle applicazioni più interessanti che caratterizzano la Realtà Virtuale riguarda il suo impiego durante lo svolgimento del processo di sviluppo di un nuovo prodotto, per il quale è richiesto l'uso di potenti e costosi calcolatori. Tale strumento consente infatti ai progettisti di entrare in un contesto virtuale dove possono direttamente interagire con l'articolo muovendosi attorno a esso, osservandolo e toccandolo. Da questa esperienza possono ricavare importanti indicazioni relativamente alla sua configurazione e struttura, nonché al suo funzionamento, informazioni da cui è possibile trarre precise conclusioni e prendere adeguate decisioni. I recenti progressi di simile tecnologia hanno permesso l'esecuzione di molteplici attività all'interno di un ambiente alternativo, tra le quali rientrano le operazioni di progettazione, prototipazione, assemblaggio, ispezione, formazione e simulazione.

La Realtà Virtuale non consente quindi esclusivamente la visualizzazione dell'articolo, ma si dimostra fondamentale nell'assicurare una dettagliata interazione tra il prodotto stesso e i membri del team, garantendo l'essenziale opportunità di manipolare l'oggetto, effettuare specifiche verifiche funzionali ed eseguire particolari simulazioni di processo. Ciò risulta fondamentale per l'introduzione di un approccio alla risoluzione dei problemi di tipo abducente. Come evidenziato nei paragrafi precedenti, la capacità di svolgere alcuni test di prodotto o processo si rivela determinante nella creazione di nuova

conoscenza, poiché è grazie alla loro realizzazione che si rende possibile la verifica di un più alto numero di ipotesi che possono, a loro volta, generare idee e soluzioni decisamente innovative. È questo il passaggio chiave per realizzare articoli originali e di elevata qualità che permettano di soddisfare le esigenze dei consumatori, guadagnare un vantaggio competitivo nei confronti dei competitor e raggiungere risultati positivi in termini economici. Detta condizione rappresenta pertanto uno degli elementi che stanno alla base di un'efficace strategia aziendale.

Si passeranno ora in rassegna le principali applicazioni della Realtà Virtuale durante il compimento delle fasi di sviluppo di un nuovo prodotto e i relativi benefici da queste derivanti; tali considerazioni sono in gran misura valide anche con riferimento alla Realtà Aumentata (vedi Tabella 10).

Le più importanti situazioni di utilizzo si riscontrano durante gli step di definizione del design dell'articolo, progettazione dei suoi requisiti e prototipazione. L'impiego della RV offre l'occasione ai progettisti di creare, esaminare e valutare nel dettaglio la configurazione e le caratteristiche estetiche di molteplici alternative di prodotto, nonché di condurre su di esse specifiche verifiche di carattere ergonomico, entrandone direttamente in contatto all'interno del contesto digitale. Ciò permette, ad esempio, di generare e modellare rapidamente e in maniera efficiente la geometria e le forme dell'oggetto, servendosi semplicemente dell'utilizzo dei dispositivi di input (comandi vocali, movimenti delle mani, ecc...), apportando quindi in modo tempestivo le necessarie modifiche al design in questione.

Dopo aver definito questi attributi, tramite la RV è possibile testare alcuni aspetti funzionali e verificare le risposte fornite dalle diverse alternative di prodotto nelle circostanze di interazione con l'utilizzatore, eseguendo varie tipologie di analisi sul prototipo virtuale. La prototipazione virtuale assicura dunque un cospicuo risparmio di tempo e risorse economiche, permettendo altresì un'inferiore ricorso alla costruzione di modelli fisici.

L'impiego di tale tecnologia dimostra una notevole utilità anche nel favorire la considerazione dei requisiti e vincoli relativi alle operazioni di assemblaggio e produzione durante il ciclo di sviluppo. Infatti, attraverso la sua adozione, il team ha la facoltà di simulare l'effettuazione e constatare la fattibilità dello step di assemblaggio del prodotto in fase di elaborazione. La RV consente quindi di valutare questi aspetti con grande attenzione già nel corso dello svolgimento dello stadio di progettazione. L'utente

può infatti interagire direttamente con l'oggetto virtuale, espletando le medesime attività che sarà chiamato a compiere durante il reale processo di assemblaggio. Può manipolare le varie componenti, unirle e separarle, verificando al contempo la complessiva facilità e la migliore sequenza delle diverse manovre, nonché l'eventuale presenza di particolari problemi o difficoltà che possono dunque essere rilevati e risolti già nelle fasi iniziali del ciclo di sviluppo.

Lo stesso discorso vale anche per specifiche attività di produzione. La Realtà Virtuale permette di pianificare e simulare il processo produttivo dell'articolo al fine di valutare la sua idoneità nel realizzare l'oggetto in questione. Infatti, se esso non risulta fattibile con i macchinari presenti in azienda, si rende necessario rivedere le caratteristiche del prodotto o del processo, apportando le conseguenti modifiche. L'attuazione di tutte queste operazioni all'interno di un ambiente virtuale consente inoltre agli individui impegnati nella loro effettiva esecuzione di esercitarsi e apprendere in modo sicuro e preciso i vari passaggi che saranno successivamente chiamati a svolgere. La simulazione di tali molteplici aspetti permette una rilevante diminuzione delle spese da sopportare nello step di produzione⁴⁵.

L'implementazione di un sistema di Realtà Virtuale da parte di un'impresa assicura un considerevole aumento del grado di coordinamento e collaborazione tra le varie funzioni e persone dedicate alla progettazione del prodotto, garantendo l'adozione di un'ottica orientata al *concurrent engineering*. Per condurre le opportune analisi ed effettuare le verifiche di prodotto e processo, viene richiesto un continuo scambio di informazioni tra le varie aree aziendali, condizione che porta a una notevole riduzione del complessivo tempo di sviluppo. Il team può altresì lavorare insieme e quindi più efficientemente all'interno dell'ambiente virtuale. La combinazione tra i sistemi RV e Internet consente poi una più semplice comunicazione e condivisione di dati anche tra progettisti geograficamente lontani tra loro. Tutti questi fattori, legati all'utilizzo della Realtà Virtuale, favoriscono la creazione di articoli qualitativamente superiori, diminuendo considerevolmente il loro tempo di introduzione sul mercato e i costi associati al loro sviluppo, considerato il minore ricorso alla fase di prototipazione fisica.

Tale tecnologia, nonostante possa offrire ragguardevoli benefici, presenta alcuni punti di debolezza che ne limitano la diffusione e l'adozione da parte delle imprese (vedi Tabella

⁴⁵ MUJBER T.S., SZECSI T., HASHMI M.S.J., *Virtual reality applications in manufacturing process simulation*, Journal of Materials Processing Technology, Elsevier, 2004, p. 1835 e ss.

10). Come già affermato, i modelli digitali impiegati per la realizzazione degli ambienti virtuali vengono solitamente importati dai sistemi CAD per poi essere opportunamente elaborati. Tuttavia le modifiche apportate nel corso delle analisi all'interno del contesto virtuale sono difficilmente reimportabili in CAD.

Un ulteriore svantaggio è rappresentato dagli ancora poco adeguati e realistici feedback di tipo tattile garantiti dagli attuali dispositivi di output, i quali necessitano di notevoli progressi in tal senso. In generale detti strumenti sono oggetto di continui miglioramenti al fine di rendere l'interazione con i vari elementi sempre più reale.

Per un'accurata generazione dell'ambiente e dei prototipi virtuali e per gestire la complessità associata a questa operazione, diventa indispensabile servirsi di calcolatori e dispositivi costosi e dalle elevate prestazioni che possono risultare inaccessibili per molteplici piccole e medie aziende.

Infine il prolungato impiego di tale strumento può comportare il manifestarsi di alcuni effetti collaterali sull'utilizzatore. Tra le principali conseguenze si ravvisano stanchezza visiva, disorientamento, mal di testa e nausea⁴⁶.

2.4.3 Realtà Aumentata: requisiti funzionali e possibilità d'impiego nel ciclo di elaborazione di nuovi prodotti

In questi ultimi anni sta muovendo i primi passi, suscitando grande attenzione da parte delle imprese e dei consumatori, una nuova tecnologia la cui origine è da ricondursi ai continui progressi riscontrabili nell'applicazione della Realtà Virtuale. Essa può infatti essere considerata un particolare filone di sviluppo della RV, anche se presenta evidenti differenze rispetto a tale strumento. Il sistema in questione è denominato "Realtà Aumentata" e, nonostante la sua nascita risalga alla metà degli anni Novanta, il suo effettivo impiego stenta fortemente a diffondersi a causa dei rilevanti miglioramenti di cui tutt'ora necessita.

Al contrario della Realtà Virtuale, dove l'utente risulta totalmente immerso in un ambiente alternativo, la Realtà Aumentata si pone l'obiettivo di sovrapporre al contesto reale, immagini, contenuti o animazioni di carattere virtuale generate a computer che si rivelino il più possibile veritieri agli occhi della persona. Quest'ultimo sistema permette

⁴⁶ JIMENO ANTONIO, PUERTA ALBERTO, *State of the art of the virtual reality applied to design and manufacturing processes*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, p. 871 e ss.

dunque l'integrazione tra mondo effettivo e oggetti virtuali, arricchendo e potenziando l'interazione dell'utilizzatore con l'ambiente reale tramite l'aggiunta di particolari informazioni. Tale caratteristica consente di ridurre drasticamente, rispetto alla RV, gli sforzi in tema di modellazione dei vari elementi, diminuendo conseguentemente anche la quantità di contenuti da produrre e trasferire in quanto risulta inferiore il numero complessivo di oggetti da ricreare. Ciò costituisce un fondamentale punto di forza di detta tecnologia, che la rende potenzialmente molto più efficace ed efficiente della Realtà Virtuale.

I primi ambiti di utilizzo della RA⁴⁷ riguardano la ricerca, la medicina e l'aeronautica. Il principale impiego in quest'ultimo settore prevede che il pilota dell'aereo venga munito di un display, posizionato al livello degli occhi, che gli permetta di ricevere informazioni in tempo reale (lontananza dall'obiettivo, velocità, ecc..) durante il volo e il combattimento. Imprese come Google e Microsoft sono da qualche anno impegnate nella realizzazione di strumenti in grado di far vivere alle persone esperienze all'interno della Realtà Aumentata. Dispositivi quali "Google Glass" consentono, tramite comandi vocali o touchpad, di effettuare ricerche in Internet, visualizzare e inviare SMS, scattare foto, ecc..., e stanno compiendo importanti passi nel processo di commercializzazione su ampia scala. La Realtà Aumentata può essere vissuta non solo tramite l'impiego di caschi o visori, ma anche attraverso palmari forniti di particolari requisiti (GPS, bussola, ecc...) o utilizzando videoproiettori, ologrammi e ulteriori tecnologie di tracciamento che consentono la visualizzazione senza indossare specifici strumenti (*spatial augmented reality*).

Oggi la RA si sta sviluppando rapidamente nel campo del marketing, della pubblicità e in quello delle app mobile, grazie soprattutto alle capacità dei moderni telefonini di supportarne alcune tipologie di applicazione. Il mondo dell'intrattenimento costituisce uno di quei settori, insieme a quello medicale, che in futuro potrà trarre rilevanti benefici dall'utilizzo di tale tecnologia.

Perché l'utente percepisca realisticamente gli oggetti creati virtualmente, risulta fondamentale che essi siano correttamente posizionati e che non diano l'impressione di "navigare" all'interno dell'ambiente reale, fattore questo che indurrebbe nell'individuo una sensazione di confusione.

⁴⁷ Abbreviazione di Realtà Aumentata.

I sistemi software e hardware (dispositivi di monitoraggio, input e output), adoperati per l'implementazione della Realtà Aumentata, condividono praticamente le medesime caratteristiche e modalità di funzionamento di quelli necessari per l'impiego della Realtà Virtuale. I movimenti della testa della persona vengono infatti rilevati dai dispositivi di monitoraggio (oltre a quelli già evidenziati, videocamere, geolocalizzazione, ecc...) ed elaborati dal calcolatore il quale restituisce le esatte immagini virtuali aggiornate all'utente attraverso lo schermo collocato sullo strumento di feedback visivo. Tale operazione è ripetuta continuamente al fine di assicurare un flusso di immagini costantemente rivisto. L'utilizzatore, come nel caso della RV e a seconda del contesto d'uso, può inoltre percepire suoni e, in alcune circostanze, ricevere risposte di tipo tattile e olfattivo.

I metodi per aggiungere le informazioni di carattere virtuale al contesto reale sono essenzialmente due (si è fatto riferimento all'utilizzo degli HMD, ovvero schermi posizionati sulla testa dell'individuo): l'aumento ottico e l'aumento video. Con il primo l'utente vede il mondo reale attraverso uno specchio semitrasparente sul quale vengono riflesse, da uno schermo, le immagini virtuali, consentendogli la visualizzazione combinata dei vari elementi in modo diretto e semplice. Con la seconda modalità la persona è provvista di due videocamere sulla propria testa, tramite le quali vede indirettamente l'ambiente veritiero. Per ricreare il senso di Realtà Aumentata sono necessarie l'unione e l'elaborazione dei video di entrambe le telecamere al fine di garantire la contemporanea presenza dei contenuti reali e virtuali (appartenenti a due video separati). Quest'ultimo metodo permette di sincronizzare meglio la visualizzazione delle informazioni digitali con quelle effettive⁴⁸.

Una delle più promettenti applicazioni della Realtà Aumentata è costituita dalla sua adozione nel corso del processo di sviluppo di un nuovo prodotto. Come già detto, sovrapporre elementi virtuali all'ambiente reale richiede sforzi di programmazione inferiori rispetto a quelli necessari per l'implementazione della Realtà Virtuale. È per tali motivi che la RA può rivelarsi ancora più vantaggiosa rispetto alla RV per quelle aziende fortemente impegnate nella realizzazione di prodotti innovativi. Anch'essa può risultare fondamentale nell'apportare importanti miglioramenti alle fasi di progettazione e

⁴⁸ CARMIGNIANI JULIE, FURHT BORKO, ANISETTI MARCO, CERAVOLO PAOLO, DAMIANI ERNESTO, IVKOVIC MISA, *Augmented reality technologies, systems and applications*, Multimedia Tools and Applications, 2010, p. 347.

prototipazione, consentendo l'inserimento delle informazioni riguardanti i requisiti di assemblaggio e produzione fin dai momenti iniziali del ciclo di sviluppo. L'utilizzo di questa tecnologia durante lo svolgimento di dette attività e i conseguenti benefici che ne derivano a livello di elaborazione di prodotto, sono in gran parte assimilabili a quelli già evidenziati precedentemente con riferimento alla Realtà Virtuale (vedi Tabella 10). L'impiego della RA permette infatti la creazione, progettazione e analisi di diverse configurazioni di prodotto con la possibilità, tuttavia, di visualizzarle da ogni prospettiva sul reale tavolo di lavoro, anziché all'interno di un ambiente virtuale.

I vari membri del team possono osservare contemporaneamente il prodotto in questione, afferrarlo, girarlo e verificarne alcuni aspetti funzionali, discutendo e collaborando attivamente al suo sviluppo, incrementando dunque le probabilità di concepire idee decisamente innovative. Tale strumento consente altresì di apportare modifiche di carattere virtuale direttamente su un oggetto concreto senza doverlo ricreare completamente. Tutti questi fattori contribuiscono in maniera considerevole alla riduzione dei costi e tempi di sviluppo e all'aumento della qualità dell'articolo finale. La RA può inoltre rivelarsi molto utile non solo nel garantire la considerazione delle informazioni riguardanti le fasi di produzione e assemblaggio e l'effettuazione della loro simulazione durante gli step iniziali di progettazione, ma soprattutto nel fornire importanti istruzioni agli addetti a tali attività nel corso del loro vero e proprio svolgimento (ad esempio il prossimo passaggio da compiere, lo stato dei lavori, ecc...). Questo permette quindi, oltre a verificare la fattibilità del processo mediante l'utilizzo dei reali macchinari, di formare i dipendenti sulle modalità di esecuzione senza spreco di materiale e rischi per la sicurezza delle persone.

Come nel caso della Realtà Virtuale, la RA è ancora in fase di evoluzione e risulteranno necessari notevoli sviluppi futuri perché la sua implementazione per lo sviluppo di nuovi prodotti si diffonda tra le imprese. Detta applicazione necessita infatti di un grado di precisione molto alto nel monitoraggio dei movimenti dell'individuo e nella sovrapposizione delle immagini virtuali, risultato che si dimostra difficile da raggiungere. È pertanto essenziale che le caratteristiche dei vari dispositivi, compresi quelli di output, migliorino ulteriormente al fine di assicurare all'utente un'esperienza la più realistica possibile. Come già detto, la Realtà Aumentata assicura gli stessi benefici e offre un livello di realismo superiore rispetto alla RV, richiedendo al contempo una minore elaborazione di dati e quindi un minor consumo di risorse. Per tali motivi

rappresenta la soluzione più promettente e maggiormente percorribile in futuro per quelle aziende fortemente impegnate nella realizzazione di prodotti innovativi.

Tabella 10. Potenziali vantaggi derivanti dall'adozione di Realtà Virtuale o Realtà Aumentata durante il processo di sviluppo di nuovi prodotti e limiti connessi⁴⁹.

	Realtà Virtuale e Realtà Aumentata
Potenziali vantaggi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Riduzione dei tempi e costi di sviluppo ➤ Aumento della complessiva qualità di prodotto ➤ Minore ricorso alla prototipazione fisica ➤ Completa visualizzazione del prodotto da ogni prospettiva ➤ Possibilità di interagire con l'oggetto virtuale e di manipolarlo ➤ Precisa valutazione della configurazione del prodotto e analisi delle diverse alternative ➤ Possibilità di condurre verifiche di carattere ergonomico ➤ Tempestive modiche al design di prodotto ➤ Possibilità di testare alcuni aspetti funzionali dell'oggetto ➤ Creazione di nuova conoscenza ➤ Possibilità di simulare le attività di assemblaggio e produzione e di verificarne la fattibilità ➤ Maggiore formazione per i dipendenti ➤ Migliore comunicazione, collaborazione e coordinamento tra le varie funzioni aziendali
Limiti	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Difficoltà nel reimportare i dati in CAD ➤ Necessità di migliorare la qualità dei dispositivi impiegati (soprattutto di output e in particolare quelli di tipo tattile) ➤ Necessità di servirsi di potenti e costosi calcolatori (soprattutto per la RV) ➤ Possibile manifestarsi di effetti collaterali sull'utilizzatore

2.4.4 Un esempio di attuazione della RV: l'azienda Dallara

Uno dei contesti industriali in cui Realtà Virtuale e Realtà Aumentata si stanno maggiormente diffondendo è costituito dal settore *automotive*. Il costante progresso tecnologico rappresenta il primario obiettivo da conseguire allo scopo di generare veicoli all'avanguardia che superino la concorrenza dei competitor. Tale aspetto è ancor

⁴⁹ Elaborazione personale su varie fonti citate in note precedenti.

di più accentuato nelle imprese che realizzano vetture da competizione dove il test e la verifica delle loro caratteristiche tecniche risultano indispensabili per migliorare le prestazioni e la sicurezza dell'auto, requisiti che assumono un ruolo fondamentale nel decretare la qualità del prodotto. Una delle principali aziende costruttrici di tale tipologia di vetture è "Dallara", presente con le proprie monoposto nella totalità dei campionati di Formula 3 e fornitore unico in molti altri, tra cui l'IndyCar. Con il passare degli anni, l'impresa ha investito notevoli risorse in campo tecnologico introducendo al proprio interno la Galleria del vento e un reparto interamente dedicato alla prototipazione rapida attraverso stampanti 3D al fine di migliorare continuamente le attività di progettazione e simulazione su cui si fondano le competenze chiave imprenditoriali.

Una delle più straordinarie innovazioni è tuttavia riconducibile alla costruzione, nel 2011, di un simulatore di guida professionale basato sull'integrazione di molteplici tecnologie, tra cui la Realtà Virtuale. Tale sistema, costato 10 milioni di euro, consente ai progettisti di valutare e testare il comportamento della vettura e delle sue componenti e ai piloti di allenarsi e imparare nuove piste senza correre il rischio di subire infortuni o perdere la vita. Al pilota viene offerta la possibilità di guidare una monoposto per mezzo di un ambiente virtuale, con esattamente le medesime caratteristiche di quella utilizzata in gara, ricevendo risposte e feedback (flussi d'aria, forza G, ecc...) del tutto veritieri. I numerosi circuiti disponibili sono perfettamente ricreati sulla base di quelli reali, presentando, grazie all'impiego di particolari programmi di elaborazione, attributi identici in termini di ruvidità dell'asfalto, cordoli, ecc... . Durante il suo utilizzo, il pilota recepisce le stesse sollecitazioni che percepirebbe in pista e il comportamento della vettura risulta completamente equiparabile a quello reale. Il campione di IndyCar, Tony Canaan, ha espresso il seguente giudizio sul simulatore in questione: *"Ti dimentichi che sei in un simulatore [...] pensi di essere su una pista vera e propria"*. Ciò sta a significare come tale esperienza sia assolutamente immersiva e si avvicini di molto alla realtà.

Questo strumento ha garantito enormi benefici anche al team di ingegneri impegnati nella progettazione della monoposto. Possono infatti testare un numero elevatissimo di potenziali soluzioni e apportare rapidamente le necessarie modifiche sulla base delle indicazioni provenienti dalle sperimentazioni. Possono inoltre essere variati alcuni parametri e verificate le conseguenze a livello di performance derivanti da detti

cambiamenti⁵⁰. La realizzazione di prototipi fisici viene dunque ritardata e ridotta, garantendo un cospicuo risparmio di denaro. Oggi “Dallara” può avvalersi di due simulatori, uno in Italia e uno negli U.S.A.. Grazie a tale sistema, il team impegnato nello sviluppo di nuove vetture può analizzare velocemente una grande quantità di dati con una straordinaria precisione.

L'esempio riportato vuole porre in evidenza come gli investimenti in queste nuove tecnologie riescono spesso ad assicurare la conquista di considerevoli benefici. Anche se tali strumenti non risultano ancora adeguati per un loro definitivo impiego durante il processo di elaborazione di un nuovo prodotto, i validi principi di base, che li caratterizzano, si possono efficacemente combinare con quelli di altre tecnologie, offrendo dunque importanti spazi per l'innovazione.

2.5 L'avvento del *Building Information Modeling* nell'industria AEC

Nei paragrafi precedenti sono state analizzate le principali e più recenti tecnologie che sono in grado di favorire e facilitare un efficiente progettazione di nuovi prodotti, siano essi di significative dimensioni, quali ad esempio automobili e aerei oppure oggetti di largo consumo acquistabili e utilizzabili dalla clientela in generale. L'espansione di tali strumenti di supporto non si è tuttavia limitata ai soli contesti industriali impegnati nella creazione di queste tipologie di articoli, ma ha riguardato anche ulteriori settori tra cui spicca quello delle costruzioni, denominato “AEC” (*Architecture, Engineering, Construction*).

In questo ambito, negli ultimi anni, si sta infatti assistendo al progressivo sviluppo di una nuova metodologia/tecnologia a sostegno delle numerose operazioni che conducono alla realizzazione di ogni tipo di infrastruttura, definita “*Building Information Modeling*” (BIM). Nonostante il termine “infrastruttura” comprenda una svariata gamma di opere (immobili, edifici, ponti, viadotti, strade, ecc...), nel corso di tale paragrafo sarà adoperato con riferimento specifico alla categoria degli immobili-edifici.

Prima di passare al dettagliato esame delle sue caratteristiche e dei notevoli vantaggi derivanti dal suo utilizzo, è necessario chiarire quali siano le modalità di svolgimento delle diverse attività al giorno d'oggi maggiormente diffuse (soprattutto in Italia) che portano alla costruzione di un immobile. Gli attori, che prendono parte al processo di progettazione e realizzazione degli edifici, sono molteplici; i principali risultano: i

⁵⁰ <https://www.dallara.it>.

proprietari del progetto, gli architetti, gli ingegneri, i geometri, altri tecnici e infine i costruttori e gli impiantisti.

Tutte queste professionalità, considerate le loro specifiche capacità e conoscenze, eseguono il proprio lavoro in maniera pressoché autonoma, ma necessitano comunque di un continuo coordinamento e scambio di informazioni al fine di procedere efficacemente al compimento delle varie mansioni che competono loro.

Attualmente la maggior parte di queste figure opera in sequenza. Ciò sta a significare che, dopo aver stabilito con il proprietario del progetto i requisiti base dell'immobile, l'architetto può svilupparne il disegno, il quale, una volta concluso, sarà inviato prima all'ingegnere per l'esecuzione delle varie analisi di tipo strutturale e quindi ai tecnici addetti alla valutazione dell'impiantistica. Durante lo svolgimento delle rispettive attività, ciascun attore utilizza particolari software e di conseguenza specifici formati di file che permettono loro di completare in maniera adeguata il proprio compito. Tali programmi differiscono spesso l'uno dall'altro e i dati da essi risultanti non si rivelano dunque sempre compatibili, rendendone più problematica la complessiva elaborazione e richiedendone inoltre il continuo riadattamento. Questo aspetto può comportare difficoltà di coordinamento, fattore che si dimostra ulteriormente acuito dai frequenti contrasti che nascono a seguito delle diversità di opinioni e prospettive che contraddistinguono le varie figure professionali.

È per far fronte ai sopra citati ostacoli all'efficiente comunicazione e collaborazione tra i molteplici attori che, dai primi anni 2000, il settore AEC (soprattutto negli U.S.A.) ha iniziato ad adottare effettivamente il *Building Information Modeling*, le cui potenzialità si stanno dimostrando davvero ottime. Il comitato U.S.A. "National Building Information Modeling Standard" (NBIMS) ha così definito il BIM: "la rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di una struttura; in quanto tale, esso serve come risorsa di conoscenza condivisa relativamente alle informazioni riguardanti l'infrastruttura e costituisce una base affidabile per prendere adeguate decisioni durante il suo ciclo di vita, dall'ideazione fino al suo smaltimento [...]". Il modello virtuale ("*building information model*"), realizzato digitalmente attraverso l'impiego di questo strumento, si può pertanto utilizzare per la pianificazione, progettazione e costruzione degli edifici, individuando e risolvendo tempestivamente tutti i potenziali problemi che possono sorgere durante dette fasi.

Come esplicitato, l'impiego di differenti software e formati dati, rende difficoltosa la

collaborazione tra i vari soggetti partecipanti allo sviluppo della struttura. Per superare tale ostacolo e poiché non esiste un unico programma in grado di gestire tutte le attività svolte dai molteplici attori del processo, è necessario che sia garantita l'interoperabilità dei vari applicativi. Con questo termine si vuole indicare la possibilità di scambiare i dati progettuali tra i diversi software impiegati per l'esecuzione delle operazioni sopra citate, senza dover perdere del tempo prezioso nella loro conversione e nel loro adattamento. È quindi fondamentale assicurare la capacità dei programmi di interagire correttamente, al fine di favorire l'accessibilità delle informazioni essenziali alla realizzazione del progetto.

Con l'adozione della metodologia BIM si punta dunque a creare un ambiente collaborativo che permetta di integrare i dati elaborati dai numerosi soggetti nel corso dei loro rispettivi step di progettazione all'interno di un unico file e modello consultabile e modificabile da ciascuno di essi. Per consentire la suddetta integrazione dei dati tra i vari software, che si basano sul BIM, l'azienda BuildingSMART ha sviluppato un formato aperto internazionale di scambio, denominato "IFC" (*Industry Foundation Classes*), compatibile con i diversi applicativi in questione, che offre la possibilità ai progettisti di continuare a lavorare nello stesso modo, potendo tuttavia usufruire contemporaneamente di informazioni riguardanti tutte le altre attività di sviluppo. Sempre BuildingSMART, in collaborazione con i principali fornitori di software che utilizzano il formato IFC, ha dato vita a un'iniziativa dal nome "Open BIM", al fine di promuovere la collaborazione durante le molteplici fasi del progetto secondo standard e procedure aperti⁵¹. Tramite la certificazione "Open BIM" i produttori dei programmi per il settore AEC, aderenti all'iniziativa, possono migliorare, verificare e certificare i sistemi di scambio dei dati per una perfetta integrazione con altre soluzioni basate su "Open BIM"⁵².

Considerata l'attuale impossibilità di impiegare un unico software che gestisca tutte le operazioni di progettazione, anche all'interno di una stessa attività accade spesso che venga utilizzato un programma principale, come ad esempio Revit, ArchiCad e Allplan (progettazione architettonica) e poi successivamente si faccia uso di ulteriori applicazioni a questo associate per l'attuazione di altre specifiche tipologie di analisi. In

⁵¹ DALLA MORA T., PERON F., CAPPELLETTI F., ROMAGNONI P., RUGGERI P., *Una panoramica sul Building Information Modelling (BIM)*, AiCARR, 2014, p. 12.

⁵² http://www.edilportale.com/news/2015/10/focus/bim-a-cosa-serve-e-chi-lo-user%C3%A0_48424_67.html.

generale, le informazioni provenienti dai vari software impiegati dai molteplici attori vengono esportate attraverso il formato comune "IFC" e inserite all'interno di un unico database.

Il *Building Information Modeling* non è quindi un software, bensì un processo e l'impatto derivante dalla sua introduzione può essere analizzato sotto due distinti profili: tecnologico e procedurale.

BIM offre innanzitutto la possibilità di simulare, tramite la costruzione di modelli 3D, i diversi elementi che fanno parte del progetto e di legare a tali rappresentazioni tutte le indicazioni interessanti le fasi di progettazione e realizzazione dell'immobile. Al contrario dei sistemi 3D CAD, che permettono all'utilizzatore di beneficiare esclusivamente di informazioni di carattere visivo, BIM consente di ricevere anche notizie su moltissimi aspetti riguardanti i requisiti tecnici e funzionali di ciascuna componente dell'immobile. Dati riferiti alle tipologie di materiale da adoperare, alle loro quantità, ai fornitori, alle adeguate procedure di manutenzione, ai tempi, ai costi, ecc... vengono associati alle differenti parti che andranno a formare l'edificio, incrementando sensibilmente l'efficienza nell'esecuzione degli step di sviluppo. Un'altra caratteristica chiave, che distingue questi due strumenti, è costituita dalle relazioni parametriche che collegano gli elementi progettuali. Apportare una modifica a una particolare rappresentazione in CAD richiede di effettuare, in un secondo momento, le necessarie rettifiche anche in tutte quelle rimanenti, circostanza che comporta un elevato spreco di tempo e un aumento del rischio di commettere errori. Con l'uso invece della metodologia BIM, tali effetti negativi non si manifestano, data la presenza di relazioni parametriche utili a legare le componenti oggetto di progettazione, le quali permettono un loro immediato aggiornamento nel momento in cui viene eseguita qualsiasi variazione. Un'ultima significativa differenza è ravvisabile nel fatto che i dati impiegati nei sistemi 3D CAD sono costituiti da linee, tratteggi, archi, ecc..., mentre all'interno delle rappresentazioni BIM i diversi oggetti sono determinati attraverso veri e propri elementi costruttivi quali muri, tetti, solai, ecc... .

L'adozione del *Building Information Modeling* è inoltre la causa di un evidente cambiamento nell'organizzazione e nelle modalità di svolgimento del processo di sviluppo del progetto (vedi Tabella 12). La sua implementazione comporta fin dall'inizio il coinvolgimento delle diverse figure professionali e migliora notevolmente il livello di coordinamento e collaborazione tra queste, nonché la qualità complessiva del risultato

finale. Persone, approcci di lavoro e di business vengono inserite all'interno di un unico processo, riducendo considerevolmente sprechi di risorse e aumentando al contempo l'efficienza dell'intero ciclo.

Per passare a questa nuova modalità di esecuzione del processo di progettazione, è necessario che gli attori impegnati in tale fase integrino le competenze tecniche in loro possesso con ulteriori nuove capacità di gestione e corretta trasmissione delle informazioni utili agli altri progettisti. Le conoscenze riguardanti l'utilizzo dei vari specifici software, seppur fondamentali, non bastano per assicurare un'ideale collaborazione. A tal fine, negli ultimi anni stanno assumendo un ruolo sempre più importante nuove figure professionali chiamate non solo a eseguire, ma anche ad amministrare il processo BIM e il flusso di dati che lo riguarda. Queste si possono ricomprendere in tre principali categorie: il "*BIM Specialist*", il "*BIM Coordinator*" e il "*BIM Manager*", le cui mansioni vengono di seguito sinteticamente riportate.

Il primo ha il compito di svolgere le attività di creazione e sviluppo del modello tridimensionale, nonché alcune analisi di carattere tecnico.

Il secondo coordina il lavoro dei diversi *BIM Specialist* al fine di garantire il corretto e aggiornato scambio di informazioni e dati tra i vari soggetti.

Il terzo organizza e gestisce l'operato delle altre due figure, pianificando accuratamente l'esecuzione delle molteplici fasi del progetto.

I primi due attori si possono ulteriormente suddividere, a seconda della loro specializzazione, in: *BIM Specialist/Coordinator for Building*, nel caso si dedichino allo sviluppo, alla realizzazione e gestione di opere di tipo edile; e *Bim Specialist/Coordinator for Infrastructure*, nel caso compiano le medesime attività, ma con riferimento a opere infrastrutturali. Nonostante queste tre figure abbiano specifiche responsabilità e competenze, le loro abilità tendono a mescolarsi insieme, rendendo meno evidenti le differenze che le contraddistinguono. Formare tali professionalità risulta sempre più importante, ma richiede al contempo notevoli investimenti; per questi motivi gli istituti universitari avranno in futuro una funzione chiave in tal senso.

2.5.1 I vantaggi offerti dalla metodologia BIM

Dopo aver analizzato le caratteristiche funzionali di BIM, è ora necessario approfondire i generali vantaggi assicurati da detta metodologia e dalla stretta collaborazione che essa stessa garantisce.

Innanzitutto il poter fare affidamento su rappresentazioni 3D della struttura permette di visualizzare e comprendere al meglio la soluzione ideata, nonché di risolvere tempestivamente eventuali problemi progettuali. Conflitti o interferenze tra gli elementi dell'edificio vengono infatti subito identificati, così da poterli eliminare rapidamente. Anche l'eventuale presenza di incongruenze tra i risultati delle attività svolte dagli attori impegnati nello sviluppo del progetto, si possono opportunamente individuare e prontamente rimuovere grazie all'utilizzo di un singolo file che unisce i vari esiti (*clash-detection*). La possibilità di effettuare diverse tipologie di simulazione (strutturali, energetiche, ecc...) consente inoltre di valutare attentamente molteplici alternative e di scegliere quella complessivamente migliore, ottimizzando dunque il processo decisionale e incrementando, al contempo, le probabilità di dare origine a soluzioni innovative.

Come già detto, il "*building information model*" non contiene solo informazioni di carattere geometrico, ma anche tutta una serie di altri dati che si rivelano fondamentali nell'esaminare e programmare il completo ciclo di vita dell'edificio.

È proprio questa una delle principali opportunità offerte da BIM, ovvero pianificare precisamente i tempi di esecuzione e svolgimento del progetto e delle successive singole lavorazioni già in fase di sviluppo, nonché di visualizzare lo stato di avanzamento dei lavori (4D BIM).

Un ulteriore fondamentale beneficio è riconducibile alla possibilità di effettuare puntuali stime dei costi che si andranno a sostenere. Queste previsioni vengono automaticamente ottenute sulla base degli attributi tecnici dei vari elementi che comporranno l'immobile, quali: dimensioni, materiali impiegati, quantità, ecc... . Ogni modifica apportata al modello comporta l'aggiornamento dei connessi requisiti e delle conseguenti spese attese e ciò può permettere l'analisi della loro evoluzione nel tempo (5D BIM).

Tutti questi vantaggi comportano un aumento della velocità e dell'efficienza del processo di progettazione, un elevato miglioramento del prodotto finale (anche dal punto di vista della sostenibilità) e una straordinaria diminuzione dei costi di elaborazione e realizzazione. Già nel 2007, il *Center for Integrated Facilities Engineering* dell'Università di Stanford ha dimostrato, attraverso uno studio effettuato su 32 progetti basati sull'uso di BIM, quali fossero i principali benefici derivanti dall'applicazione di tale metodologia. Dall'indagine è emerso che assicurava: l'eliminazione del 40% delle impreviste modifiche di budget; un'accuratezza nella stima dei costi all'interno di un

intervallo del 3%; una diminuzione dell'80% del tempo necessario per redigere un preventivo di spesa; un risparmio del 10% sul valore totale del contratto grazie alla tempestiva identificazione delle incongruenze di progettazione; una riduzione nelle tempistiche di compimento del progetto del 7%⁵³. Se già allora il suo impiego garantiva l'ottenimento di evidenti conseguenze positive, negli ultimi anni queste risultano ulteriormente acuite grazie ai continui sviluppi e miglioramenti che l'hanno interessata.

L'impiego della metodologia BIM, come già affermato, segue l'intero ciclo di vita di un'infrastruttura dalla sua programmazione fino ai momenti successivi alla sua effettiva costruzione e messa in opera.

Si passeranno ora in rassegna i principali vantaggi assicurati dalla sua adozione nei confronti degli attori coinvolti nella progettazione, realizzazione e gestione dell'edificio (riassunti in Tabella 11). Verranno presi in considerazione i proprietari del progetto, i progettisti, i costruttori e coloro che saranno poi chiamati a gestire l'immobile.

Per la prima categoria di soggetti, i benefici più evidenti sono: la possibilità di effettuare preliminari e frequenti valutazioni al fine di verificare il rispetto dei requisiti di base del progetto; l'opportunità di giudicare le prestazioni e la manutenibilità dell'edificio grazie all'esecuzione di specifiche simulazioni funzionali; la possibilità di usufruire di un completo set di informazioni, facilmente consultabili, anche di carattere economico riguardanti l'intera infrastruttura, fattore questo che garantisce una sensibile diminuzione del complessivo rischio finanziario collegato alla sua realizzazione.

Come già evidenziato in precedenza, pure i progettisti (architetti e ingegneri) possono trarre importanti vantaggi dall'utilizzo di BIM, durante lo svolgimento del processo di progettazione. Nel compimento di tali attività, il *Building Information Modeling* consente infatti a queste figure di confrontare più agevolmente e velocemente, data la rilevante quantità di informazioni a disposizione, le diverse alternative progettuali in esame sulla base della loro fattibilità tecnica ed economica. La decisione finale viene dunque presa più celermente e con maggiore precisione e consapevolezza rispetto alle consuete modalità di scelta. I progettisti possono inoltre creare numerosi modelli 3D e animazioni definite "*walk-through*", le quali permettono di visualizzare nel dettaglio l'edificio e di valutare accuratamente ogni suo aspetto come se si stesse "passeggiando" al suo interno. L'adozione di BIM offre la possibilità di eseguire in anticipo e in tempi rapidi, specifiche

⁵³ AZHAR SALMAN, *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*, Leadership and Management in Engineering 11, 2011, p. 242 e ss.

analisi sulle performance strutturali ed energetiche dell'infrastruttura e inoltre di evidenziare la presenza di eventuali conflitti o interferenze fra le diverse parti.

Poter accedere a un'ampia gamma di dati relativi alla forma dell'immobile, ai materiali adoperati per la sua costruzione, ecc... garantisce la considerazione dell'impatto ambientale derivante dalla realizzazione del progetto già nelle fasi iniziali della sua elaborazione, operazione non attuabile attraverso l'utilizzo dei tradizionali sistemi CAD. Consente infine ad architetti e ingegneri di programmare al meglio le tempistiche di sviluppo e costruzione dell'edificio, tenendo altresì sempre sotto controllo i costi connessi al compimento di tali attività.

I costruttori rappresentano un'altra importante categoria di attori particolarmente interessata dall'implementazione della metodologia BIM. Anche loro possono impiegarla con risultati estremamente positivi per la stima dei costi che andranno a sostenere, per l'individuazione di eventuali errori di progettazione, per la pianificazione degli aspetti legati alla sicurezza e per la programmazione, tramite la conduzione di specifiche analisi di costruzione, delle operazioni che saranno chiamati a svolgere e della loro migliore sequenza di esecuzione. Queste applicazioni, unite all'opportunità di collaborare costantemente con tutte le altre figure professionali, assicurano ai costruttori una considerevole riduzione dei costi, nonché un sensibile miglioramento delle scelte effettuate in fase decisionale e del servizio offerto al cliente.

Il *Building Information Modeling* offre notevoli benefici anche a coloro che avranno il compito di amministrare l'immobile una volta terminati i lavori. Prima dell'introduzione di tale metodo, i gestori erano tenuti a fare i conti con moltissimi documenti riguardanti garanzie, controlli di manutenzione, ecc... che dovevano continuamente esaminare per ottenere i dati di cui necessitavano. Oggi invece, grazie a BIM, possono trovare tutte le informazioni di loro interesse direttamente all'interno di un unico file elettronico con considerevole risparmio di tempo e denaro. A ogni componente appartenente all'edificio è infatti associato un ampio set di indicazioni a esse relative, che risultano facilmente ricavabili e usufruibili anche per eventuali operazioni di verifica, manutenzione e ristrutturazione⁵⁴.

⁵⁴ KHALFAN MALIK, MAQSOOD TAYYAB, AZHAR SALMAN, *Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond*, Australasian Journal of Construction Economics and Building 12, 2012, p. 21 e ss.

Tabella 11. Principali applicazioni del BIM con riferimento agli attori del processo⁵⁵.

Applicazioni	Proprietari del progetto	Progettisti	Costruttori	Gestori della struttura
Visualizzazione	✓	✓	✓	✓
Analisi alternative	✓	✓	✓	
<i>Clash-detection</i>		✓	✓	
Programmazione tempistiche		✓	✓	
Previsione costi	✓	✓	✓	
Analisi sostenibilità	✓	✓		
Analisi costruttive		✓	✓	
Analisi prestazioni struttura	✓	✓	✓	✓
Gestione struttura	✓			✓

2.5.2 Rischi e ostacoli legati all'adozione del sistema BIM

Nonostante BIM permetta ai diversi attori coinvolti nel processo di progettazione e realizzazione di un'infrastruttura di ottenere rilevanti vantaggi nell'espletamento delle loro attività, la presenza di alcuni rischi e limitazioni ne sta rallentando la completa diffusione e adozione da parte delle suddette figure professionali (vedi Tabella 12). Le principali fonti di incertezza riguardano gli aspetti tecnici e procedurali relativi alla sua implementazione.

Per quanto concerne la prima prospettiva, le maggiori questioni sono direttamente legate al concetto di interoperabilità. Sebbene l'utilizzo di un unico formato per lo scambio dei dati (IFC) abbia decisamente ridotto le dimensioni di tale problematica, i software in grado di assicurare una corretta e completa condivisione delle varie indicazioni non sono molti. Infatti viene ravvisata ancora la mancanza di standard generali predefiniti che stabiliscano le informazioni minime necessarie perché un

⁵⁵ Fonte: KHALFAN MALIK, MAQSOOD TAYYAB, AZHAR SALMAN, *cit.*, p.22.

applicativo possa garantire un efficace ed esatto scambio di informazioni con le altre tipologie di programmi tramite il formato IFC. Ciò aumenta il rischio che si vengano a formare incongruenze tra i vari dati, che potrebbero, in alcuni casi, portare alla creazione di un modello impreciso. Come affermato in precedenza, la nascita di “Open BIM” punta proprio a eliminare detto problema per consentire la perfetta integrazione tra informazioni provenienti da diversi software.

Dal punto di vista procedurale, invece, i rischi maggiori possono essere ricondotti a questioni legali, contrattuali e organizzative. Innanzitutto una delle difficoltà più evidenti consiste nella determinazione della proprietà dei dati condivisi in BIM. La comunicazione di particolari informazioni riservate potrebbe infatti risultare necessaria per la buona riuscita del progetto, ma la mancanza di adeguati sistemi legali, atti a proteggerle, potrebbe disincentivare la loro divulgazione agli altri soggetti. Lo stesso discorso vale per la condivisione di dati non corretti, i quali devono dunque venire costantemente controllati per tutelare l’esattezza del modello complessivo. Anche questo aspetto richiede un’assunzione di responsabilità da formalizzare adeguatamente attraverso garanzie o altri mezzi.

Una buona soluzione per risolvere tali problematiche è quella di inserire all’interno del contratto le opportune disposizioni che regolino diritti, responsabilità e compensi di ogni parte.

Un’indagine effettuata nel 2011 su 31 imprese appaltatrici americane ha evidenziato quali siano i principali ostacoli all’adozione di BIM. Fattori come l’assenza di personale qualificato, gli elevati costi di implementazione, la difficoltà nel convincere le altre figure al suo impiego e nel raggiungere con esse accordi contrattuali, nonché i problemi legati all’interoperabilità costituiscono importanti barriere all’introduzione di tale metodologia di lavoro⁵⁶.

⁵⁶ KHALFAN MALIK, MAQSOOD TAYYAB, AZHAR SALMAN, *cit.*, p. 24 e ss.

Tabella 12. Limiti allo sviluppo del BIM e conseguenze derivanti dal suo impiego a livello organizzativo⁵⁷.

	<i>Building Information Modeling</i>
Limiti allo sviluppo e all'implementazione	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mancanza di standard generali predefiniti che assicurino un adeguato scambio di informazioni tra i vari software e conseguente rischio di incongruenze tra i dati ➤ Difficoltà nel determinare e formalizzare la proprietà dei dati condivisi in BIM ➤ Problematiche nel definire la responsabilità dell'inserimento di dati non corretti ➤ Resistenza al cambiamento delle consuete modalità di operare ➤ Carenza di personale qualificato ➤ Alti costi di implementazione ➤ Difficoltà delle varie figure professionali nel raggiungere accordi contrattuali
Effetti a livello organizzativo derivanti dalla sua adozione	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Possibilità di accedere a essenziali informazioni riguardanti le attività degli altri attori ➤ Coinvolgimento continuo e fin dalle fasi iniziali del processo di tutte le figure professionali ➤ Integrazione all'interno di un unico processo di diverse tipologie di approccio di lavoro ➤ Non necessario abbandonare specifiche competenze, ma esigenza di ampliarle tramite formazione ➤ Necessità di modificare le procedure di progettazione finora adottate ➤ Necessario integrare le competenze tecniche di base con capacità di coordinamento e gestione delle attività e del flusso di informazioni ➤ Approccio indirizzato alla pianificazione delle diverse attività da compiere ➤ Processo decisionale maggiormente preciso, veloce e consapevole

⁵⁷ Elaborazione personale su varie fonti citate in note precedenti.

Come già detto, l'utilizzo del *Building Information Modeling* nel settore AEC è molto diffuso negli U.S.A. così come nel Nord Europa, mentre in Italia il suo percorso di sviluppo procede a rilento soprattutto a causa dell'elevata parcellizzazione delle attività di progettazione. Nel 2015 la Società di consulenza Arch-Vision ha condotto una ricerca tra 1600 architetti europei appartenenti a otto Paesi (Regno Unito, Germania, Francia, Spagna, Italia, Paesi Bassi, Belgio, Polonia) riguardante il grado di diffusione del BIM e ha poi stilato il report "*Q4 2015 European Architectural Barometer*" in cui sono stati riportati i risultati dell'indagine. Dallo studio è emerso che Paesi Bassi (51%) e Regno Unito (36%) rappresentano gli Stati in cui tale metodologia si rivela maggiormente impiegata, mentre l'Italia è costretta a rincorrere con solamente il 13% di utilizzo, una delle percentuali più basse. Il confronto con i dati della medesima analisi svolta nel 2013 dimostra come lo sviluppo del BIM, nonostante sia ancora in fase embrionale in molti Paesi, stia seguendo un ritmo di crescita graduale e costante.

In Italia la sua adozione è aumentata del 3%, mentre la Francia ha fatto registrare l'incremento maggiore passando dal 7% al 20% a testimonianza del fatto che il mondo dell'architettura sta acquisendo sempre più consapevolezza dei vantaggi derivanti da questo strumento⁵⁸.

In Paesi quali Finlandia e Norvegia, da qualche anno il suo utilizzo è stato reso obbligatorio per la realizzazione di opere pubbliche e presto lo sarà anche nei restanti Stati Europei. Con la direttiva 2014/24/EU sugli Appalti Pubblici, l'Unione Europea ha infatti stabilito che, a partire dal 2016, i vari Stati membri devono impegnarsi nell'incoraggiare l'adozione di BIM per i progetti di carattere pubblico con specifici decreti.

Anche l'Italia ha dovuto recepire la direttiva e l'impiego di questa metodologia/tecnologia diventerà progressivamente obbligatoria per l'esecuzione di questo genere di opere nei prossimi anni.

Il *Building Information Modeling* rappresenta quindi un processo totalmente nuovo in grado di garantire il raggiungimento di notevoli vantaggi nella progettazione e realizzazione delle infrastrutture. Il BIM muta completamente l'approccio adottato dai vari attori nell'effettuazione delle loro attività, migliorando incredibilmente la collaborazione e la comunicazione tra di loro. Le limitazioni, che ancora oggi lo

⁵⁸ ARCH-VISION, *Press Release: Q4 2015 European Architectural Barometer*, 2015.

caratterizzano, stanno trovando le giuste soluzioni con il passare del tempo; la sua diffusione è dunque destinata a crescere rapidamente. Le decisioni politiche prese a livello europeo testimoniano la valenza di questo strumento che assumerà un ruolo sempre più importante all'interno del processo di sviluppo e gestione degli immobili.

Capitolo 3. Case Studies

Nei paragrafi precedenti sono state analizzate dettagliatamente le diverse fasi del processo di sviluppo di un nuovo prodotto e le principali tecnologie a supporto della sua esecuzione.

In questo capitolo si procederà a un accurato esame di un paio di casi di studio riguardanti due aziende venete con *core business* e obiettivi completamente differenti che tuttavia condividono un importante aspetto: l'impiego di sistemi 3D CAD e soprattutto di stampanti 3D durante lo svolgimento delle loro attività di progettazione e prototipazione.

La prima realtà imprenditoriale oggetto di approfondimento è il Gruppo Selle Royal Spa, compagine societaria di livello internazionale impegnata primariamente nella realizzazione di selle per biciclette e molto attiva nella ricerca di nuove soluzioni che soddisfino le esigenze dei propri clienti. Dopo una breve analisi del settore della bici e delle dinamiche riguardanti la sua evoluzione, verranno illustrati i vari step che contraddistinguono il ciclo di elaborazione dei nuovi prodotti compiuti all'interno del Gruppo Selle Royal Spa e successivamente si valuteranno i rilevanti vantaggi e le conseguenze derivanti dall'utilizzo delle tecnologie sopra citate.

Nei paragrafi seguenti si prenderà in considerazione Protomoker Srl, azienda locale fornitrice di servizi di progettazione e prototipazione rapida che si pone l'obiettivo di offrire nuove opportunità di crescita alle imprese di piccole e medie dimensioni prive delle risorse necessarie per effettuare queste fasi in autonomia. Anche in tal caso saranno innanzitutto esaminate le modalità di gestione ed esecuzione dei diversi step di sviluppo, per poi passare all'esposizione dei considerevoli benefici assicurati alle aziende clienti dall'espletamento delle suddette attività basate sull'impiego di un sistema 3D CAD e di stampanti 3D.

Lo studio di queste due distinte realtà permetterà di comparare e porre in evidenza le principali differenze, nonché i punti di forza e debolezza che caratterizzano la specifica implementazione di tali nuovi strumenti all'interno del contesto aziendale e l'indiretta fruizione degli stessi tramite il ricorso a servizi esterni di progettazione e prototipazione.

Per quanto concerne il Gruppo Selle Royal Spa, le informazioni relative all'impresa sono state raccolte nel corso di due incontri avvenuti in data 25 aprile 2017 e 24 maggio 2017, presso la sede della capogruppo a Pozzoleone (Vicenza) con il Project Manager, al quale sono state sottoposte una serie di domande riguardanti soprattutto le modalità di svolgimento del ciclo di sviluppo e l'impatto esercitato su di esso dalle nuove tecnologie adottate. Il sito internet della società e i bilanci degli ultimi due esercizi sono risultati particolarmente utili per completare l'analisi e per comprendere nello specifico la composizione del complesso aziendale.

Il medesimo iter è stato seguito per ottenere le indicazioni necessarie alla stesura dei paragrafi riferiti a Protomaker Srl. Anche in questo caso i dati relativi all'impresa sono stati reperiti durante due colloqui svoltisi in data 7 maggio 2017 e 17 maggio 2017 presso la sede dell'azienda a Dosson di Casier (Treviso), rispettivamente con il Responsabile Marketing Design & Project e con il Responsabile Tecnico. Ulteriori importanti notizie sono state inoltre ricavate dal bilancio d'esercizio e dalla consultazione di apposito materiale fornito dal personale dell'impresa, nonché mediante frequenti comunicazioni telefoniche e via mail intercorse con gli stessi responsabili.

3.1 Il Gruppo Selle Royal Spa

3.1.1 Il settore della bicicletta: evoluzione storica e principali caratteristiche

La bicicletta è un mezzo di trasporto entrato stabilmente a far parte della vita quotidiana di ogni persona, ma ha richiesto anni e anni di innovazione e continui sviluppi per raggiungere la configurazione attuale. Prima di analizzare nel dettaglio gli attributi che contraddistinguono il settore oggetto d'esame, è necessario ripercorrere brevemente i principali passi che hanno scandito la storia e l'evoluzione della bicicletta.

La sua origine è da ricondursi al 1791, quando il conte Mède de Sivrac realizza la prima bici in legno, denominata "Celerifero", priva tuttavia di sterzo, catena e pedali. Nel 1817 il barone tedesco Karl Von Drais inventa la cosiddetta "Draisina", simile alla precedente versione, ma dotata di sterzo e sedile regolabile. Il decisivo passo in avanti avviene nel 1861, anno in cui il costruttore di carrozze Pierre Michaux, aggiunge mozzi, pedali, manubrio e freni, creando una bicicletta, battezzata "Velocipede", che comincia ad

assomigliare a quella oggi in uso. È caratterizzata da una ruota anteriore di dimensioni decisamente superiori rispetto a quelle della ruota posteriore. Da questo momento la bici inizia ad attirare l'attenzione popolare e a diffondersi, anche se la poca sicurezza garantita e le condizioni non certo ottimali delle strade dell'epoca rendono piuttosto problematico il suo utilizzo. Nel 1877 due imprenditori inglesi, Sutton e Starley, fondano una casa costruttrice di mezzi meccanici denominata "Rover" (la futura produttrice di automobili). Nel 1884, Starley dà origine alla prima bicicletta veramente assimilabile a quelle attuali, che prende il nome dall'azienda madre ed è meglio conosciuta con l'appellativo "Safety Bicycle". Quest'ultima versione presenta ruote di uguale grandezza, una trasmissione a catena e, dopo il 1888, pneumatici con camera d'aria a seguito dell'invenzione di John Boyd Dunlop⁵⁹. La sua introduzione provoca un boom di richieste e l'affermazione di un disegno dominante per il settore. Da allora la bicicletta ha mantenuto quasi inalterata la sua architettura di base e, dalla fine del diciannovesimo secolo, si è assistito a un continuo miglioramento delle sue complessive prestazioni e delle caratteristiche tecniche delle componenti che vanno a formarla tramite il costante verificarsi di innovazioni di tipo incrementale. Tuttavia le modalità di funzionamento e interazione tra i diversi elementi che la costituiscono sono mutate pochissimo e le interfacce che li legano hanno seguito un percorso di progressiva e generale formalizzazione all'interno del settore; ciò ha dunque gradualmente reso la bicicletta un prodotto modulare.

Come già esplicitato nel primo capitolo, la standardizzazione di tali interfacce consente di poter utilizzare le varie parti in più configurazioni di prodotto originando di conseguenza numerose sue versioni. Le principali componenti di una bici sono: telaio, ruote, cerchioni, mozzi, manubrio, guarniture, sella, pedali, cambio e catena. Nonostante possano esistere molteplici varianti per ognuna di queste, esse svolgono sempre la medesima funzione e si collegano tra loro nella stessa maniera, assicurando pertanto, come già detto, un elevato grado di modularità. Uno dei più evidenti benefici derivanti dall'impiego di un'architettura di tipo modulare consiste nella possibilità di apportare modifiche migliorative ai diversi elementi e ai corrispettivi attributi funzionali senza la necessità di mutare i requisiti di quelli restanti, aspetto che garantisce una considerevole flessibilità dal punto di vista strategico e organizzativo.

⁵⁹ <http://www.bikeitalia.it/2012/10/03/cera-una-volta-la-bicicletta/>.

La modularità può manifestarsi a livelli e in forme differenti che variano a seconda del grado di controllo esercitato sulla conoscenza riguardante le interfacce tra componenti. Tale verifica può essere rigorosa e provenire da una singola impresa che supervisiona e coordina l'operato delle aziende costruttrici di componenti, le quali creano i pezzi di propria competenza sulla base di regole prestabilite a monte. L'architettura modulare può altrimenti venire assicurata dalla presenza di formali standard internazionali facilmente accessibili da tutte le realtà imprenditoriali del settore, che non richiedono quindi la presenza di uno stretto controllo da parte di un soggetto centrale.

Un elevato tasso di indipendenza tra i diversi elementi che formano l'oggetto finale, garantito dall'impiego di interfacce standard, è dunque fortemente legato al concetto di modularità e consente l'adozione di una struttura di prodotto definita "*loosely coupled*", contraria a quella denominata "*tightly coupled*", in cui le parti risultano tra loro altamente interdipendenti. Detta circostanza determina evidenti conseguenze dal punto di vista organizzativo, con le varie imprese che non necessitano di rigidi meccanismi che gestiscano il coordinamento delle proprie attività in quanto vengono eseguite in notevole autonomia grazie alla presenza di regole e obiettivi comuni e condivisi.

Le aziende impegnate nella realizzazione delle componenti possono pertanto operare proficuamente anche in zone molto distanti tra loro senza risentire di effetti negativi in termini di efficienza. Inoltre, a seguito della mancanza di elevate barriere di ingresso, nuove realtà produttive possono agevolmente entrare nel settore semplicemente adeguandosi agli standard fissati. In un contesto fortemente decentrato, a cui partecipano molteplici imprese ognuna delle quali concentrata nella continua elaborazione di un particolare elemento, la sopravvivenza di aziende integrate è resa quasi impossibile e queste vengono dunque costrette ad abbandonare la competizione o a specializzarsi nella creazione di una o pochissime parti.

Riassumendo: la modularità può quindi essere associata a tre principali dinamiche di settore: notevole coordinamento di carattere implicito, considerevole dispersione geografica e ridotte barriere di ingresso⁶⁰.

Tornando all'argomento "bici", dalla fine del 1800, momento in cui si è sviluppato e affermato il suo disegno dominante, il settore in questione ha subito rilevanti cambiamenti che verranno in seguito approfonditi.

⁶⁰ GALVIN PETER, MORKEL ANDRÈ, *The effect of product modularity on industry structure: the case of the world bicycle industry*, Industry and Innovation, Vol. 8, 2001.

Negli anni del boom di richieste delle “Safety Bicycle” (1,2 milioni di vendite solo nel 1899), l’architettura di prodotto risulta standardizzata e la grande maggioranza delle imprese attive nella sua produzione si rivela molto integrata, realizzando al proprio interno componenti e telaio. Con la presenza di un disegno dominante, però, la determinante fondamentale nell’acquisto da parte dei consumatori e dunque nella differenziazione tra diversi articoli diventa il prezzo; anche il continuo ingresso di nuove aziende comporta la progressiva diminuzione del costo di acquisizione delle biciclette. I problemi cominciano a manifestarsi a partire dal 1905, quando le vendite iniziano a contrarsi sensibilmente fino a 250 mila unità, circostanza che conduce al fallimento di numerose realtà imprenditoriali. Questi avvenimenti mutano in maniera considerevole le modalità di operare delle imprese sopravvissute al periodo di turbolenza che, non avendo più le risorse e le capacità necessarie per produrre tutti gli elementi costitutivi della bicicletta, si concentrano nell’esclusiva progettazione e realizzazione del telaio, esternalizzando la creazione di tutte le altre parti (con riferimento al mercato di bassa fascia). Diverse aziende si specializzano dunque nella costruzione di specifiche componenti, assemblate poi insieme dalla produttrice del telaio.

Dal 1930 il settore si avvia verso l’uscita dalla fase di crisi e i fornitori di parti della bici cercano di ottenere economie di scala e una sempre più ridotta differenziazione nella generazione dei rispettivi elementi al fine di diminuire il più possibile gli oneri legati alla loro fabbricazione. Solamente pochissime imprese leader riescono a sopperire a tale limitazione, realizzando internamente alcune componenti o operando le dovute pressioni sulle aziende costruttrici.

Nel frattempo cominciano ad assumere sempre maggiore rilevanza le gare ciclistiche e per accaparrarsi questo mercato (di alta fascia), le varie realtà imprenditoriali si impegnano nel garantire una bicicletta sempre più performante (leggera, aerodinamica, solida), misurandosi quindi sulla qualità e non sul prezzo. Anche in tale contesto, per assicurare prestazioni complessive ottimali, le piccole imprese sono costrette a focalizzarsi nella creazione di uno o pochissimi elementi: la condizione necessaria, perché ciò possa verificarsi, è rappresentata dalla presenza di un elevato livello di standardizzazione che permetta la generale e corretta interconnessione tra queste ultime.

In quegli anni, il settore si caratterizza per essere molto regionalizzato e l’esigenza di diminuire le varianti all’interno del mercato di bassa fascia e di disporre di regole

comuni in quello delle bici da competizione porta alla nascita di standard locali. A seguito del boom economico avvenuto dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale, il settore della bicicletta si espande rapidamente in tutto il mondo e i riferimenti generali di base riguardanti le interfacce tra le componenti si diffondono altrettanto velocemente. I produttori, nel continuo tentativo di limitare le spese di fabbricazione, delocalizzano le proprie attività in zone a basso costo (soprattutto in Asia), rendendo ancora più fondamentale la riduzione del numero di varianti da realizzare. Questo passaggio ha gradualmente portato alla definitiva estromissione dal mercato delle ultime grandi aziende integrate. Si assiste infatti sempre più all'esternalizzazione delle operazioni di costruzione dei diversi elementi costitutivi della bicicletta a realtà specializzate da parte delle imprese leader, le quali mantengono al proprio interno solamente l'attività di creazione del telaio. La presenza di standard comuni tra le interfacce delle varie parti assume dunque una considerevole rilevanza non solo nel mercato di massa, ma anche in quello di alta fascia dove l'innovazione ricopre un ruolo importante.

All'interno del settore della bicicletta, il primo passo verso un approccio modulare è pertanto riconducibile al tentativo delle aziende impegnate nel mercato di bassa fascia di minimizzare i propri costi in seguito al verificarsi del periodo di recessione e alla conseguente drastica diminuzione dei prezzi di vendita. Per raggiungere tale scopo le imprese hanno ridotto sensibilmente il numero di linee di prodotto e questo aspetto ha condotto alla formazione dei primi standard relativi all'integrazione tra componenti. Anche le realtà imprenditoriali attive nel mercato delle bici da competizione, sempre più specializzate, necessitavano di regole comuni che garantissero la corretta connessione tra elementi realizzati da diversi produttori. Durante il processo di globalizzazione alcuni standard regionali vengono abbandonati mentre altri si diffondono a livello internazionale. La loro presenza assicura un elevato grado di modularità alla struttura di prodotto e un coordinamento implicito tra gli attori del settore, rendendo non più occorrente una diretta comunicazione tra questi.

Ciò ha dunque portato alla frammentazione del contesto operativo con le varie aziende che si sono specializzate in un particolare segmento al fine di contenere il più possibile i prezzi. Le imprese sono dunque sicure che le parti, da esse create, si interfacciano correttamente con quelle provenienti da altre realtà e risultano maggiormente consapevoli dell'inefficacia di diventare verticalmente integrate. Il coordinamento a

livello architeturale non è pertanto gestito da specifici meccanismi o da enti che presiedono le attività di settore, ma è garantito da assetti organizzativi di carattere informale. Eventi quali gare ciclistiche e fiere rappresentano un'occasione per entrare in contatto con competitor e produttori di telai e consentono il diretto scambio di importanti informazioni che possono condurre alla generazione di prodotti innovativi. Eventuali cambiamenti della generale architettura richiederebbero una stretta collaborazione tra i costruttori delle diverse componenti, circostanza difficilmente verificabile all'interno di un contesto altamente frammentato e governato dalla presenza di standard internazionali; per questi motivi la modularità e conseguentemente la struttura del settore sono destinati a mantenersi invariati nel tempo.

Il comparto della bicicletta si può suddividere in quattro principali sotto-settori a seconda delle competenze su cui si basa l'operato dei suoi partecipanti.

Il primo è composto da quelle aziende che sono attive in altri mercati, ma che realizzano anche parti per la bicicletta (ad esempio alcuni produttori di pneumatici come Continental o Michelin, primariamente impegnati nella fabbricazione di ruote per automobili).

Il secondo è costituito dalle imprese (Shimano, Campagnolo, ecc...) dedicate alla costruzione degli elementi mobili e meccanici, ovvero quelli appartenenti al sistema di trasmissione della bici (catena, cambio, ecc...).

Il terzo gruppo è formato dai costruttori delle componenti non mobili, quali selle, manubri, cerchioni, sviluppate con l'obiettivo di renderle il più robuste possibili, ma al contempo leggere e aerodinamiche. All'interno del mercato di bassa fascia, tali parti difficilmente sono contraddistinte da un'elevata differenziazione e le varie realtà imprenditoriali puntano spesso esclusivamente alla continua riduzione dei loro costi di realizzazione. È soprattutto nel mercato di alta fascia che si ricercano invece soluzioni originali per migliorarne le performance.

L'ultimo sotto-settore è composto dai produttori di telai, che possono svolgere anche le attività conclusive di assemblaggio dei molteplici elementi costitutivi della bicicletta⁶¹.

Le aziende impegnate in questi diversi contesti non si scambiano l'oggetto delle proprie lavorazioni e comunicano pochissimo tra loro (tranne nei confronti dei costruttori di telai), risultando dunque caratterizzate da un notevole grado di indipendenza; è inoltre

⁶¹ GALVIN PETER, MORTEL ANDRÈ, *cit.*, p. 39 e ss.

molto raro trovare imprese che operino contemporaneamente in più d'uno di questi sotto-settori.

Pertanto, come già ribadito più volte, la necessità di ridurre i costi nel mercato di bassa fascia e di permettere la corretta integrazione tra le componenti nel segmento delle bici da competizione ha condotto alla crisi delle realtà imprenditoriali meno efficienti, nonché alla generazione e allo sviluppo di standard internazionali, i quali, annullando il bisogno di ricorrere a un costante coordinamento, hanno consentito ai fornitori di specializzarsi, portando così alla frammentazione del settore della bicicletta. Dall'istituzione degli standard che definiscono le modalità di interfacciamento tra le varie parti, le innovazioni riguardanti il mercato oggetto di studio si sono contraddistinte per il loro carattere incrementale-modulare anziché radicale-architettonico. Cambiamenti radicali-architettonici si rivelano infatti molto difficili da attuare in un settore *loosely coupled* come è quello della bici. L'elevata suddivisione del contesto si è dimostrata la principale causa dell'assenza di tale tipo di trasformazioni, considerata la mancanza di un'azienda leader in grado di mutare la struttura di prodotto e coordinare il processo di modifica. Per questi motivi anche nei prossimi anni sarà difficile assistere a innovazioni radicali all'interno del settore della bicicletta, i cui partecipanti continueranno quindi a operare sulla base dei prestabiliti standard internazionali.

Una particolare eccezione, riscontrabile però a livello di sotto-settore, è rappresentata dalla costruttrice giapponese di componenti meccaniche Shimano, la quale è riuscita nell'intento di apportare sostanziali variazioni alla struttura di base del sistema di trasmissione della bici, che risulta costituito dalle seguenti parti: cambio, deragliatore, ruota libera, catena, mozzo, freni. Nel 1980, il mercato di tali elementi per le bici da strada (facilmente interscambiabili) è popolato da più di cinquanta aziende e pochissime di queste produce al proprio interno tutte e sei le componenti sopra citate. Nell'arco di dieci anni il settore della bicicletta subisce tuttavia considerevoli cambiamenti, con le imprese che offrono principalmente due categorie di prodotto: le bici da strada e le mountain bike (MTB). Shimano arriva a dominare entrambi i mercati, per quel che concerne il sistema di trasmissione, con una quota pari a circa il 60% nel primo e all'80% nel secondo. I suoi primari competitor sono Campagnolo e Suntour e in tale periodo il settore diventa sempre più integrato, anziché frammentarsi ulteriormente, con le parti realizzate dalle diverse aziende che non risultano dunque più compatibili tra

loro. Questo mutamento è riconducibile all'azione di Shimano che, verso la metà degli anni 80, progetta un nuovo design di prodotto caratterizzato da una struttura di base integrale.

Si procederà ora ad analizzare i cambiamenti indotti da tale innovazione.

Come già detto, nei primi anni Ottanta, l'architettura del sistema di trasmissione è fortemente modulare, con l'esistenza pertanto di interfacce standardizzate che consentono la corretta combinazione tra elementi forniti da diverse imprese. Il sotto-settore si dimostra molto competitivo; grazie alla progressiva espansione del mercato della mountain bike, più di venticinque aziende produttrici di parti per la trasmissione decidono di operare in questo nuovo contesto. Shimano, Suntour e Campagnolo sono i tre maggiori costruttori di componenti meccaniche per le bici da strada; i primi due producono internamente tutti e sei gli elementi citati in precedenza e cominciano a entrare gradualmente nel mondo della MTB. Nonostante la presenza di tali importanti imprese la concentrazione del mercato risulta ancora relativamente bassa.

È verso la metà degli anni Ottanta che Shimano introduce un nuovo sistema di cambio denominato "S.I.S." (Shimano Index System), il quale richiede la riprogettazione di cambio, deragliatore, ruota libera e catena, nonché delle interconnessioni che li riguardano, rendendo l'architettura della trasmissione adottata dall'azienda più integrale. Questa modifica implica un cambiamento sostanziale del grado di standardizzazione delle componenti a livello di settore, il quale diminuisce drasticamente poiché le varie parti prodotte da Shimano non risultano più compatibili con quelle fabbricate dalle altre realtà imprenditoriali. Per rispondere alle mosse di Shimano, anche Suntour e Campagnolo sviluppano le proprie versioni integrali del sistema di cambio, riducendo ulteriormente la conciliabilità tra elementi di diverse imprese. Con la continua crescita del segmento MTB, Shimano e Suntour trasferiscono le loro innovazioni anche in tale contesto, ma la prima si dimostra decisamente più efficace considerato che nel 1988 la sua quota di mercato raggiunge il 77%. Il sotto-settore della trasmissione muta radicalmente; il suo tasso di concentrazione aumenta sensibilmente così come il numero di biciclette vendute con componenti meccaniche costruite da un'unica azienda, anziché da più imprese specializzate⁶².

Nel 1989 Shimano rende ancora maggiore il grado di integralità della sua architettura di

⁶² FIXSON SEBASTIAN K., PARK JIN-KYU, *The power of integrality: Linkages between product architecture, innovation, and industry structure*, Research Policy 37, Elsevier, 2008.

prodotto creando la ruota libera “HyperGlide” per l’MTB (successivamente portata nelle bici da strada) al fine di consentire il cambio di marcia durante la pedalata. Ciò ha comportato un’ulteriore diminuzione del livello di standardizzazione e compatibilità con altre componenti. Verso il 1990 l’azienda domina ormai entrambi i mercati (quote del 55% nella bici da strada e dell’80% nella mountain bike) e la concentrazione del settore registra nuovamente un incremento con la stragrande maggioranza delle imprese che producono tutti e sei gli elementi facenti parte della trasmissione.

Nelle pagine precedenti si è sottolineato quanto sia difficile per una singola realtà imprenditoriale cambiare totalmente la struttura di base di un prodotto radicata da anni all’interno di un settore. Come ci è riuscita allora Shimano?

Innanzitutto ha saputo sfruttare al meglio l’emergere e lo sviluppo della mountain bike per la quale il nuovo sistema di cambio risulta fondamentale nel garantire una guida migliore e più sicura. È quindi riuscita a cogliere il momento giusto per la sua introduzione.

Il secondo motivo è riconducibile al supporto offerto ai negozi di riparazione e vendita delle biciclette. L’installazione di tale sistema ha richiesto infatti nuove attrezzature e competenze ai tecnici impegnati in queste attività, i quali avrebbero dovuto pertanto sostenere ingenti costi di acquisizione e apprendimento. Per favorire la diffusione della sua architettura, Shimano ha concesso gratuitamente gli strumenti necessari al montaggio delle componenti e inviato i propri esperti presso i rivenditori di bici al fine di insegnare loro le corrette modalità di assemblaggio e smontaggio delle diverse parti. Infine, la considerevole conoscenza ed esperienza maturate dall’azienda nella fabbricazione di tutti e sei gli elementi meccanici della trasmissione le hanno consentito di riprogettare efficientemente la struttura di prodotto.

Questo esempio dimostra come il sotto-settore del sistema di trasmissione abbia seguito un percorso inverso rispetto al complessivo settore della bicicletta, passando da un’architettura modulare a una più integrale. L’introduzione di una nuova architettura di prodotto da parte di Shimano ha causato la drastica espansione della sua quota di mercato e la concentrazione e integrazione del sotto-settore, invece che un’elevata suddivisione e specializzazione delle molteplici attività. Tutt’oggi Shimano è leader nel mercato della bici da strada e della mountain bike. Dunque, anche se solitamente nel lungo periodo le varie dinamiche conducono al consolidamento dei requisiti di

modularità, nel breve termine e all'interno di uno specifico contesto, tali regole possono venire ribaltate portando al raggiungimento di una situazione completamente opposta.

L'Italia è un Paese in cui la bici è utilizzata da sportivi appassionati e consumatori in genere e anche se il suo tasso d'impiego risulta inferiore rispetto agli Stati del Nord Europa, come ad esempio Germania e Paesi Bassi, si piazza al primo posto nella produzione di questo mezzo di trasporto. I dati ufficiali sulla produzione e sulle vendite di biciclette pubblicati da ANCM (Associazione Nazionale Ciclo Motociclo Accessori), relativi all'anno 2016, dimostrano la notevole rilevanza ricoperta oggi da tale mercato. I numeri riferiti alle vendite contenuti nell'indagine sono calcolati sommando la produzione nazionale interna all'import e sottraendovi poi l'export.

Come riportato in Tabella 13, mentre le quantità di biciclette tradizionali fabbricate e vendute all'interno del nostro Paese fanno registrare lievi diminuzioni, gli stessi dati concernenti le e-bike, da qualche anno sempre più popolari, segnalano una evidente e costante crescita del mercato che le riguarda. Questi mezzi di trasporto elettrici assistono la pedalata del ciclista e si stanno diffondendo rapidamente tra il pubblico di consumatori come si desume dall'incremento del 121,3% delle loro vendite rispetto al 2015. Stesso discorso si può fare per l'import e l'export di tali prodotti, aumentati rispettivamente del 148,9% e del 135,3%. La curva di crescita dell'e-bike è tuttavia ancora in una fase iniziale e potrà quindi garantire in futuro considerevoli ritorni economici alle aziende impegnate nella sua produzione⁶³.

A livello globale è la Cina a dominare il mercato delle e-bike, ma l'Europa presenta elevatissime potenzialità di sviluppo.

⁶³ <http://www.dday.it/redazione/23271/in-italia-e-boom-di-bici-elettriche-124000-e-bike-vendute-nel-2016>.

Tabella 13. Dati relativi al mercato italiano della bicicletta riferiti al 2016 e pubblicati da ANCMA⁶⁴.

	2016		2015
Vendite biciclette	1.555.000	- 2,6%	1.597.500
Vendita e-bike	124.400	+ 121,3%	56.200
Totale	1.679.400	+1,6%	1.653.700
Produzione biciclette	2.315.000	- 1,3%	2.346.000
Export biciclette	1.350.000	- 3,2%	1.395.000
Import biciclette	590.000	- 9,4%	651.000
Produzione e-bike	23.600	+ 40,5%	16.800
Export e-bike	8.000	+ 135,3%	3.400
Import e-bike	108.800	+ 148,9%	43.700

3.1.2 Storia e percorso di crescita del Gruppo

Nel paragrafo precedente sono state analizzate le dinamiche evolutive che hanno interessato il settore della bicicletta, nonché i principali requisiti che lo qualificano. Si procederà ora all'esame del Gruppo Selle Royal Spa, un complesso internazionale impegnato nella realizzazione di componenti non mobili per bici e, in particolare, leader mondiale nella produzione di selle.

L'impresa, in origine chiamata "Feltrificio Bassanese", viene fondata da Riccardo Bigolin nel 1956 a Pozzoleone, in provincia di Vicenza; bisogna attendere il 1965 perché assuma l'attuale denominazione "Selle Royal Spa", che diventerà poi capogruppo della suddetta compagine societaria. Da quel momento inizia un percorso di progressivo sviluppo e diffusione che la porta a divenire prima un marchio europeo e poi globale, riconosciuto e apprezzato in tutto il mondo.

Selle Royal Spa si è sempre contraddistinta per l'adozione di un approccio orientato all'innovazione e alla ricerca, fattori che le hanno permesso di svolgere costantemente un ruolo propulsivo per la crescita del settore. Durante gli anni Settanta il mercato della bicicletta vive una fase di continua espansione e Selle Royal Spa si dimostra pronta a cogliere l'occasione progettando una nuova tecnologia per la produzione di selle, basata sull'utilizzo di una particolare schiuma di poliuretano integrale; tale tecnica le

⁶⁴ <http://www.dday.it/redazione/23271/in-italia-e-boom-di-bici-elettriche-124000-e-bike-vendute-nel-2016>.

consentirà di offrire articoli qualitativamente superiori rispetto al passato attraverso un processo maggiormente efficiente e di conseguire una posizione di leadership all'interno del settore.

Nel decennio successivo l'azienda sviluppa e brevetta un sistema di produzione automatizzato sotto vuoto denominato "*Royal Vacuum System*" (RVS) in grado di assicurare la creazione di selle dalle particolari e originali geometrie.

Il cammino d'innovazione dell'impresa non si ferma qui e, nel corso degli anni Novanta, a seguito della collaborazione progettuale con Bayer, comincia a impiegare nella realizzazione delle proprie selle un nuovo materiale (gel) che prende il nome di "*Royalgel*". Questa soluzione permette di generare prodotti decisamente più leggeri, garantendo altresì al consumatore un maggiore comfort durante l'attività ciclistica, grazie a una migliore distribuzione della pressione del corpo sulla sella.

Il processo di diffusione nel mondo di Selle Royal Spa, che l'ha portata oggi ad essere un gruppo e non più una singola azienda, ha inizio nel 1996 quando viene inaugurata Selle Bra, uno stabilimento produttivo con sede in Brasile; un anno più tardi, l'impresa lancia sul mercato un nuovo marchio, "Fi'zi:k", specificamente dedicato ai ciclisti professionisti. Nel 2002 entra nel mercato inglese acquisendo una delle storiche produttrici d'oltremarica di selle in pelle, Brooks England, potendo così distribuire i propri articoli attraverso tre brand distinti e indipendenti: Selle Royal, Fiz'i:k e Brooks England.

Nel 2005 Selle Bra si unisce a Metal Ciclo, originando Royal Ciclo e nel 2006 viene creata una joint venture con Continental Tyre North America, la "Highway Two" al fine di favorire la distribuzione diretta negli Stati Uniti.

Il percorso di crescita non si arresta, e nel 2008 la compagine aziendale si allarga ulteriormente prima nel contesto americano, procedendo all'acquisizione della società statunitense Crank Brothers, specializzata nel settore della mountain bike e poi in quello asiatico (2010), rilevando il 52% delle quote partecipative (oggi pari al 68,29%) della principale produttrice di selle cinese, Justek. Il mercato asiatico presenta infatti dimensioni relevantissime e questa azione da parte di Selle Royal Spa assume un'importanza strategica fondamentale per la fase di ampliamento e internazionalizzazione dell'impresa.

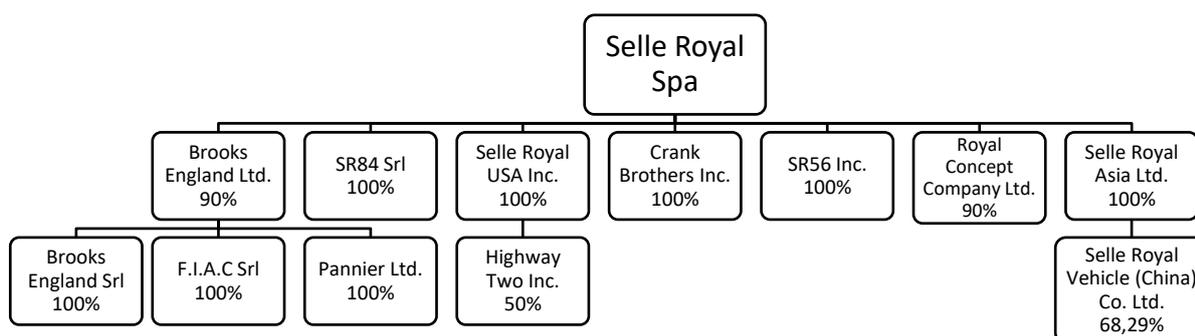
Nel 2016 l'azienda costituisce in America una nuova società, denominata "SR56", al cui interno svolge attività di sviluppo componentistica.

Tale processo di espansione ed evoluzione, di cui sono state elencate le tappe principali

e maggiormente significative, ha consentito al Gruppo Selle Royal Spa, attraverso i suoi stabilimenti in Italia, Inghilterra, America, Cina e altri Paesi, di presidiare i primari mercati mondiali di componenti per biciclette e di superare i trenta milioni di selle prodotte ogni anno, divenendo così leader globale nella loro fabbricazione.

Alla data di chiusura dell'ultimo bilancio, il Gruppo Selle Royal Spa risulta composto così come raffigurato in Tabella 14.

Tabella 14. Struttura del Gruppo Selle Royal Spa al 30/06/2016⁶⁵.



L'impresa ha pertanto puntato fortemente all'estensione del proprio raggio d'azione, indirizzando comunque sempre i suoi sforzi verso la comprensione e il soddisfacimento delle esigenze della clientela. È proprio questa la mission del Gruppo Selle Royal Spa, presente anche nel motto aziendale "Support Cyclists": studiare e valutare ogni possibile tipologia di ciclista in modo tale da offrirgli il prodotto più adatto alle sue necessità, alle sue caratteristiche fisiche e al suo stile di guida. La continua ricerca dell'innovazione si pone dunque l'obiettivo di trovare una possibile soluzione a ogni bisogno manifestato dal consumatore, cercando di capire i difetti e le problematiche da questi riscontrate durante i suoi viaggi in bicicletta. L'instaurazione di un rapporto e il costante scambio di informazioni con il cliente assumono quindi un'importanza cruciale nel garantire la realizzazione di articoli qualitativamente superiori a quelli della concorrenza.

⁶⁵ Fonte: GRUPPO SELLE ROYAL SPA, *Bilancio d'esercizio al 30/06/2016*.

3.1.3 Brand e mercati di riferimento

Il Gruppo Selle Royal Spa si rivolge a varie categorie di soggetti appartenenti a quattro segmenti di mercato (*Recreational, Mountain Bike, Lifestyle e Racing*), offrendo loro non solo selle, ma anche pedali, accessori in generale e articoli di abbigliamento per ciclisti (borse, scarpe, ecc...).

Come già detto in precedenza, i tre brand commercializzati dell'azienda sono Selle Royal, Fi'zi:k e Brooks England, le cui linee di prodotto vengono quasi interamente sviluppate nella sede italiana a Pozzoleone. Gli articoli venduti sotto questi marchi sono indirizzati a diverse tipologie di clientela e presentano evidenti caratteristiche distintive che li differenziano l'uno dall'altro.

I prodotti Selle Royal sono destinati a un consumatore a cui piace utilizzare la bicicletta saltuariamente durante i fine settimana per rilassarsi all'aria aperta; non percorre molti chilometri e richiede una sella confortevole dal prezzo non troppo elevato (dai 20 agli 80 euro). Per tale categoria di utenti (*Recreational*) l'impresa propone cinque diverse linee:

- Classic, a cui è tipicamente associata la tecnologia di produzione RVS;
- Premium, alla quale è solitamente associata la tecnologia di produzione *Royal Vacuum Light* (RVL), che non permette il passaggio dell'acqua;
- Lookin, selle dal particolare design che presentano delle finestre attraverso cui è possibile vedere direttamente il Royalgel (Figura 1);
- Respiro, che consente una migliore traspirazione, diminuendo il calore sulla sella;
- Becoz, la linea "sostenibile" realizzata con l'impiego di alcuni materiali naturali.



Figura 1. Selle Royal Lookin 3D Athletic

Recentemente sono state introdotte delle specifiche selle riconducibili a due ulteriori linee di prodotto: Scientia (Figura 2) e Ta+too (Figura 3).

La prima è stata scientificamente sviluppata in collaborazione con l'Università dello sport di Colonia e ha portato all'elaborazione di nove tipologie di articoli. La ricerca e i test sono stati effettuati allo scopo di evidenziare i fondamentali requisiti di design che una sella deve avere per consentire l'ottimizzazione delle performance ciclistiche e del comfort a seconda della posizione di guida del consumatore. Sono infatti state identificate tre *riding position* in base all'inclinazione della schiena durante la pedalata: *athletic* (45%), *moderate* (60%) e *relaxed* (90%), che esercitano differenti pressioni sulla sella. Sono inoltre state eseguite valutazioni in merito alle diverse possibili conformazioni delle ossa ischiatiche di uomini e donne in modo tale da garantire un range di prodotti che possano correttamente adattarsi anche alle caratteristiche anatomiche del cliente. Il gel viene inserito in precise aree della sella, riducendo così la generale pressione a livello della zona pubica del consumatore.



Figura 2. Selle Royal Scientia A>1

Per quanto riguarda invece Ta+too, gli articoli appartenenti a questa linea si contraddistinguono per avere la parte superiore rimovibile allo scopo di evitare danni o furti. Questi possono essere realizzati in una grande varietà di colori al fine di assicurare al cliente un notevole grado di personalizzazione.



Figura 3. Selle Royal Ta+too

Le selle Fi'zi:k (Figura 4) si rivolgono al ciclista “sfegatato” che percorre molti chilometri al giorno con la propria bicicletta (MTB e *Racing*). Il comfort, nonostante ricopra un ruolo importante, non costituisce l'attributo essenziale richiesto da tale tipologia di consumatore, il quale necessita che il prodotto sia anche leggero e performante. Per tali motivi il prezzo d'acquisto di un modello Fi'zi:k risulta decisamente più elevato, potendo variare da un minimo di 100 euro a un massimo di 350. Sotto questo marchio vengono create tre differenti categorie di articoli, rispettivamente per le bici da strada, per la MTB e per il triathlon. La progettazione delle selle Fi'zi:k viene eseguita internamente, anche se spesso si rende opportuna la collaborazione con partner esterni. Con tale brand sono inoltre vendute scarpe e accessori per la bicicletta, sviluppati in azienda, ma fisicamente realizzati da imprese esterne.



Figura 4. Fi'zi:k Arione 00

Brooks England (Figura 5) è indirizzata a consumatori appassionati del ciclismo, ma allo stesso tempo amanti del vintage e della tradizione (*Lifestyle*). In Inghilterra vengono fabbricate selle in cuoio e anche in questo caso la fase produttiva risulta esternalizzata; sotto questo marchio si commercializzano inoltre accessori quali borse, caschi, ecc... .



Figura 5. Brooks England Team Pro Chrome

Le selle appartenenti ai diversi brand presentano dunque specifiche caratteristiche e si rivolgono a particolari segmenti di clientela. Tuttavia risultano accomunate dalla continua ricerca dell'innovazione al fine di introdurre sul mercato articoli originali e dalla elevata qualità, a volte anche a discapito dell'esecuzione di processi produttivi altamente automatizzati ed efficienti (come capita spesso per Fi'zi:k).

I primari competitor aziendali sono rappresentati da Velo, soprattutto per le linee di prodotto commercializzate sotto il marchio Selle Royal, nonché Specialized e Selle Italia per quel che concerne principalmente il brand Fi'zi:k.

Il Gruppo Selle Royal Spa distribuisce i propri articoli destinati ai segmenti *Recreational*, *Racing*, *Lifestyle* e *Mountain Bike* attraverso quattro principali canali di vendita: OEM, *After Market* (AM), *Private Label* e *Mass Market*. A seconda del canale utilizzato, il prodotto è rivolto a differenti categorie di consumatori e anche il prezzo di vendita presenta consistenti variazioni.

Le selle e gli accessori venduti tramite l'OEM sono distribuiti alle case produttrici di biciclette che montano le componenti provenienti da altre aziende (tra cui il Gruppo Selle Royal Spa) e commercializzano il prodotto complessivo con il proprio marchio. Il canale *After Market* collega invece l'impresa ai negozianti che espongono e rivendono i singoli articoli (*stand alone*).

Attraverso il *Private Label* le selle realizzate dal Gruppo Selle Royal Spa vengono commercializzate con il brand del distributore al fine di diminuire il prezzo di vendita, mantenendo comunque il medesimo grado di qualità.

Tramite il canale *Mass Market* vengono raggiunti molteplici segmenti di clienti obiettivo con il commercio di una notevole quantità di prodotti destinati a un pubblico eterogeneo.

3.1.4 La situazione economica aziendale

Dall'analisi dei dati relativi all'ultimo bilancio chiuso al 30/06/2016, si rileva che il Gruppo Selle Royal Spa gode di un fatturato netto di tutto rispetto: ben 112,4 milioni di euro di ricavi derivanti dalla vendita dei propri prodotti e servizi, la cui suddivisione è riportata in Tabella 15. Tale valore risulta leggermente inferiore a quello fatto registrare nell'esercizio 2014/2015, quando ammontava a 113,3 milioni di euro. Questa riduzione si riflette anche a livello di utile d'esercizio che risulta pari a 2,3 milioni di euro, in lieve diminuzione rispetto ai 3,0 milioni di euro dell'anno precedente.

In Tabella 16 sono riportati i principali risultati economici riferiti solo agli ultimi due esercizi aziendali poiché il bilancio consolidato (chiuso al 30/06/2016) è stato per la prima volta redatto in conformità ai principi contabili internazionali IAS/IFRS, richiedendo altresì la rettifica e la riclassificazione dei dati relativi al bilancio precedente. Non è quindi possibile effettuare un'accurata comparazione con i valori riguardanti gli anni passati in quanto elaborati sulla base dei criteri contabili italiani. Le motivazioni di tale cambiamento sono da ricondurre alla maggiore idoneità dimostrata dai principi internazionali nel rappresentare l'effettiva consistenza patrimoniale del Gruppo.

Tabella 15. Composizione ricavi Gruppo Selle Royal Spa negli ultimi due esercizi⁶⁶.

	2015/2016	2014/2015	Variazione
Ricavi vendita selle	70.560.605	77.138.814	(6.578.209)
Ricavi vendita accessori	36.064.625	29.603.031	6.461.594
Ricavi vendita pedali	7.017.124	6.489.173	527.951
Ricavi vendita materiali diversi	2.823.927	3.070.698	(246.771)
Ricavi da servizi	43.246	16.574	26.672
Totale ricavi lordi	116.509.527	116.318.290	191.237
Sconti, resi, variazioni e bonus	4.110.573	2.986.637	1.123.936
Totale netto ricavi delle vendite	112.398.954	113.331.653	(932.699)

⁶⁶ Fonte: GRUPPO SELLE ROYAL SPA, *Bilancio d'esercizio al 30/06/2016*.

Tabella 16. Risultati economici Gruppo Selle Royal Spa relativi agli ultimi due esercizi⁶⁷.

	2015/2016	2014/2015	Variazione %
Ricavi	112.398.954	113.331.653	- 0,8%
Costo del venduto	64.396.686	66.477.103	- 3,1%
Margine lordo	48.002.268	46.854.550	+ 2,4%
Altri costi di gestione	36.349.793	34.885.001	+ 4,2%
EBITDA	11.652.475	11.969.549	- 2,6%
Ammortamenti	5.644.491	4.978.416	+ 13,4%
Risultato operativo	6.007.984	6.991.133	- 14,1%
Proventi/(oneri) finanziari	(2.783.087)	(1.968.075)	+ 41,4%
Risultato ante imposte	3.224.897	5.023.058	- 35,8 %
Imposte esercizio	972.082	1.376.966	- 29,4%
Interessenze terzi	58.826	624.271	- 109,4%
Risultato netto	2.311.641	3.021.821	- 23,5%

I risultati economici fatti registrare dal Gruppo Selle Royal Spa nell'ultimo esercizio sono in linea con l'andamento del settore del ciclo che ha vissuto un periodo di crescita ed espansione nel semestre luglio-dicembre 2015 e una successiva evidente contrazione nel periodo gennaio-giugno 2016. Secondo quanto riportato all'interno del bilancio societario, oltre al generale persistere della crisi economica globale, la principale causa di questa riduzione delle performance è riconducibile al continuo tentativo di allargare la propria gamma di prodotti da parte delle aziende attive nel mercato, circostanza che ha portato alla creazione di un eccesso di offerta rispetto alla domanda.

Inoltre il cambiamento delle abitudini di acquisto dei consumatori, decisamente più propensi a comprare attraverso la rete, ha generato non poche difficoltà ai tradizionali canali distributivi diretti che hanno visto diminuire le proprie vendite e aumentare le scorte di magazzino, problematiche riversatesi a monte anche sulle imprese produttrici come il Gruppo Selle Royal Spa.

⁶⁷ Fonte: GRUPPO SELLE ROYAL SPA, *Bilancio d'esercizio al 30/06/2016*.

Per quanto riguarda il personale, nell'esercizio conclusosi al 30/06/2016, all'interno delle diverse realtà del Gruppo hanno lavorato stabilmente in media 943 dipendenti, numero leggermente inferiore se confrontato con le 971 persone impiegate nell'anno precedente. Tale riduzione è riconducibile a una serie di interventi orientati all'aumento dell'efficienza produttiva realizzati nello stabilimento cinese del Gruppo Selle Royal Spa.

3.1.5 Analisi del processo di sviluppo di nuovi prodotti

Lo sviluppo di nuovi prodotti assume un'importanza cruciale per il Gruppo Selle Royal Spa che, come più volte ribadito in precedenza, punta fortemente sull'innovazione e sulla ricerca di originali soluzioni atte a soddisfare le esigenze del pubblico di consumatori. Fino a qualche anno fa il processo di elaborazione degli articoli non era totalmente svolto all'interno dell'azienda la quale, pur seguendo da vicino l'evoluzione dei propri progetti, si affidava a partner esterni per l'effettiva esecuzione di alcune fasi di progettazione. Oggi l'impresa, grazie anche all'adozione di particolari nuove tipologie di tecnologie, compie tutti gli step *in-house* e questo cambiamento organizzativo ha condotto all'ottenimento di evidenti vantaggi, comportando drastiche riduzioni in termini di costi, tempi di svolgimento e *time to market*.

Le attività di R&S vengono effettuate nella sede italiana di Pozzoleone, specializzata nello sviluppo di prodotti dedicati in particolare ai mercati europeo e americano. Le medesime attività sono tuttavia svolte anche all'interno dello stabilimento presente in Cina allo scopo di valutare e progettare da vicino soluzioni di prodotto (selle e accessori) specifiche per il contesto asiatico.

Come già esplicitato, il Gruppo procede altresì all'elaborazione di componentistica hardware nei propri uffici tecnici statunitensi, operazioni prima eseguite dal personale di Crank Brothers e passate poi in carico ai dipendenti di SR56 dai primi mesi del 2016. Nonostante la funzione R&S sia quindi distribuita in varie zone del mondo, gli esiti progettuali vengono continuamente condivisi tra le diverse realtà imprenditoriali al fine di consentire il generale apprendimento di nuova conoscenza da parte di tutte le figure professionali impegnate nella realizzazione di nuovi articoli.

Prima di prendere in considerazione le conseguenze derivanti dall'implementazione dei suddetti strumenti durante le fasi di progettazione e prototipazione, risulta necessario analizzare il ciclo di sviluppo di nuove selle seguito da Selle Royal Spa, riassunto in

Tabella 17 (per semplicità espositiva si farà dunque riferimento alla sola società capogruppo).

Prima del vero e proprio avvio del processo, il Product Manager, in collaborazione con altre figure aziendali, esegue un approfondito studio del mercato, esaminando le principali caratteristiche distintive offerte dai prodotti in commercio e i prezzi a cui sono venduti al fine di ragionare sul possibile posizionamento del nuovo articolo. È proprio questo il compito primario del Product Manager: riuscire a comprendere dove possano esistere opportunità di mercato non ancora presidiate dai competitor. Sulla base di tale indagine, il Product Manager procede dunque all'identificazione dei requisiti che la sella dovrà avere per soddisfare le esigenze del segmento obiettivo.

Una volta concluso tale step, viene composto il team di progetto che manterrà la medesima configurazione per l'intera durata del processo. Questo risulta formato dai responsabili delle diverse funzioni aziendali dedicate all'esecuzione del ciclo di sviluppo e più specificamente dalle seguenti figure: Product Manager, Responsabile Qualità, Responsabile Ufficio Tecnico, Responsabile Acquisti, Responsabile Produzione, Project Manager e Responsabile Chimico. Per i progetti considerati meno impegnativi, possono essere selezionati altri soggetti (non responsabili di funzione) che devono comunque disporre delle adeguate competenze per l'espletamento delle mansioni richieste. Il terzo passaggio prevede che il Product Manager illustri l'idea di sviluppo del nuovo prodotto ai membri del team in un'apposita riunione, definendo quali attributi tecnici, funzionali ed estetici dovrà possedere per soddisfare le necessità dei consumatori, nonché in quali tempistiche dovrà essere completato l'iter di elaborazione. Sempre in tale momento e sulla base del prestabilito prezzo di vendita a cui verrà commercializzata la sella, viene determinata la soglia massima dei costi di produzione da non superare. Tutte queste informazioni vengono riportate in un documento ufficiale allo scopo di non tralasciare alcuna indicazione di rilievo e di fornire ai progettisti una sorta di guida sulle attività da svolgere e sulle tempistiche di realizzazione.

Dopo il compimento di detto step, può prendere avvio la fase di design, nel corso della quale il Product Manager si rivolge a un designer interno o esterno all'impresa per creare una rappresentazione cartacea del prodotto e successivamente un suo primo modello fisico, solitamente realizzato in legno, per valutarne principalmente i requisiti estetici. In questo passaggio il designer viene affiancato dall'Ufficio Tecnico, in particolare dal Product Developer, che formalizza una serie di vincoli minimi da

rispettare per poi consentire l'attuazione pratica degli stadi di progettazione, prototipazione e produzione.

Il design definitivo deve essere dapprima approvato dal Product Manager e dall'Ufficio Tecnico e successivamente condiviso con tutti gli altri membri del team in una seconda riunione. È solo in tale preciso momento che può avere inizio la vera e propria fase di progettazione e l'incarico per la sua esecuzione viene affidato all'Ufficio Tecnico. Questi, su iniziativa del Product Developer, svolge un'ulteriore analisi di fattibilità tecnica dell'articolo al fine di individuare le opportune soluzioni tecnologiche per un appropriato sviluppo e una corretta fabbricazione del prodotto, rilevando altresì la presenza di eventuali limiti alla sua realizzazione. Inoltre viene effettuata una stima dei costi e dei tempi richiesti per lo svolgimento del progetto allo scopo di valutarne l'effettiva convenienza.

Completato tale step, l'Ufficio Tecnico procede alla generazione del prototipo virtuale con il sistema 3D CAD "Catia". La rappresentazione tridimensionale può essere creata da "zero" attraverso le specifiche funzionalità del software oppure a partire dal modello fisico costruito in precedenza. L'azienda dispone infatti di uno scanner ottico che permette ai progettisti di scansionare l'oggetto reale e di originare così la sua riproduzione grafica 3D, seguendo dunque un processo di *reverse engineering*. Gli addetti dell'Ufficio Tecnico definiscono tutti gli elementi e le caratteristiche principali della sella, verificano al contempo la correttezza dei legami tra le diverse componenti e ricercano gli adeguati rimedi per eliminare le interferenze ravvisate. Tali operazioni vengono sempre compiute tenendo in grande considerazione i requisiti progettuali imposti dalle successive attività di produzione e assemblaggio dei vari elementi da realizzare.

Nel corso della fase seguente si impiega uno strumento che, dal momento della sua introduzione avvenuta circa un anno e mezzo fa, ha garantito il raggiungimento di enormi vantaggi durante l'esecuzione del processo di sviluppo: la stampante 3D. Dopo aver creato il modello 3D, il team genera direttamente *in-house* il prototipo della sella oggetto di progettazione che deve tuttavia essere approvato dal Product Manager. Viene dunque organizzato un ulteriore incontro dove il Responsabile dell'Ufficio Tecnico presenta il prototipo fisico agli altri membri del gruppo, i quali discutono la possibilità di apportarvi eventuali modifiche; se il progetto viene condiviso e ritenuto idoneo, riceve il benestare da parte del Product Manager e può quindi proseguire il suo percorso di

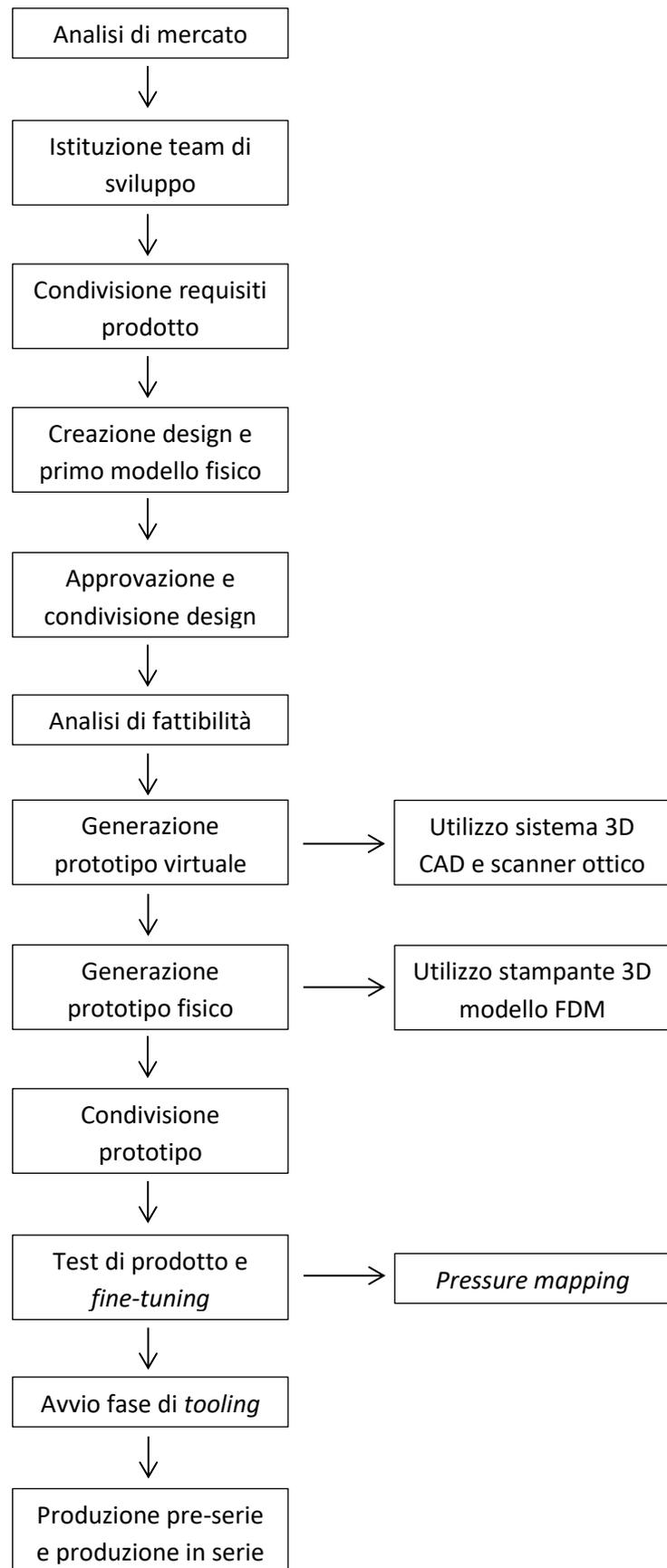
elaborazione.

Il passaggio successivo consiste nell'effettuare alcuni test di laboratorio e su strada al fine di constatare la rispondenza del prodotto a determinati criteri di qualità stabiliti internamente. L'azienda collabora e si affida a squadre di ciclisti che provano le selle e le forniscono importanti feedback riguardanti gli attributi tecnici e funzionali dei diversi articoli; sulla base dei riscontri ricevuti, i membri del gruppo procedono all'eliminazione degli ultimi difetti rilevati e apportano ulteriori accorgimenti (*fine-tuning*).

Dopo aver terminato questo stadio, il team è nella condizione di dare avvio alla fase di *tooling* che prevede la costruzione degli stampi e di tutte le attrezzature necessarie per la produzione della sella. La loro creazione viene esternalizzata a specifici fornitori i quali, sulla base di precise informazioni relative alla configurazione e conformazione del prodotto, realizzano lo stampo richiesto, che può essere a iniezione, di schiumatura, di tranciatura.

Una volta disponibili gli stampi si è in grado di dare inizio allo step di pre-serie in cui vengono fabbricate alcune centinaia di pezzi, valutando così l'adeguatezza dell'intero processo produttivo. Verificata la sua idoneità, sarà quindi possibile passare alla produzione in serie (fino a 20.000 selle).

Tabella 17. Fasi del processo di sviluppo di Selle Royal Spa e strumenti impiegati⁶⁸.



⁶⁸ Elaborazione personale su fonte: dati aziendali.

Un aspetto fondamentale, che caratterizza l'intero ciclo di sviluppo, è costituito dalla continua collaborazione tra le diverse funzioni e figure professionali impegnate nel suo svolgimento. Tutti i progressi progettuali, così come il previsto avanzamento dello stato dei lavori, vengono costantemente condivisi durante le numerose riunioni del team fin dalle fasi iniziali del processo. Ciò assicura un considerevole contenimento degli eventuali costi di riprogettazione e la possibilità di eseguire alcuni step in contemporanea, permettendo dunque l'adozione di un approccio di *concurrent engineering*.

Il tempo necessario a compiere tutte queste fasi varia a seconda della tipologia di progetto da sviluppare e della generale complessità che lo caratterizza. Nel caso il team sia chiamato a progettare una sella completamente innovativa, il tempo occorrente per la sua generazione può arrivare anche a due anni, mentre per l'elaborazione di un prodotto standard, contraddistinto da un minore livello di novità, la durata dell'iter si riduce di circa la metà. Il restyling di una sella esistente richiede invece mediamente un periodo di quattro mesi. Questi valori tengono conto del complessivo carico di lavoro a cui sono quotidianamente sottoposti i membri del team, i quali sono sempre impegnati nello sviluppo parallelo di più selle che presentano obiettivi progettuali differenti. Annualmente vengono perseguiti in media una cinquantina di nuovi progetti che conducono alla commercializzazione di altrettanti articoli e al continuo rinnovamento del portafoglio prodotti aziendale.

3.1.6 Tecnologie a supporto delle fasi di progettazione e prototipazione

Come già detto, Selle Royal Spa impiega il software 3D CAD denominato "Catia" per eseguire le proprie attività di progettazione. Tale programma consente ai tecnici di modellare tridimensionalmente il prodotto, ma non permette loro di realizzare particolari test sul suo comportamento e funzionamento. L'impresa si serve infatti di ulteriori strumenti per lo svolgimento di questo tipo di verifiche e solamente in casi eccezionali ricorre a studi di progettazione esterni per attuare specifiche analisi FEM sulla sella.

Nel paragrafo precedente si è affermato che l'introduzione un anno e mezzo fa della stampante 3D in azienda ha consentito di ottenere rilevanti benefici in termini di tempo e denaro. Prima della sua adozione la fase di prototipazione veniva effettuata da un

fornitore esterno che, nonostante risultasse molto impegnato e dedicato alla creazione degli oggetti fisici richiesti da Selle Royal Spa, impiegava per la produzione di uno di questi un considerevole lasso temporale: solitamente dai quattro ai sette giorni lavorativi. Con l'implementazione della stampante 3D (modello FDM) il prototipo si rivela oggi disponibile nell'arco di una giornata e ciò garantisce dunque un notevole risparmio a livello di tempistiche di sviluppo. Nel corso del processo di elaborazione dell'articolo si rende infatti necessaria la realizzazione di numerosi prototipi e pertanto la possibilità di costruirli tutti internamente assicura una sensibile diminuzione complessiva della durata del ciclo in questione. In generale, il suo utilizzo, unito al passaggio interno dell'esecuzione delle attività di sviluppo e all'uso dello scanner ottico, ha complessivamente comportato una restrizione del 50% dei tempi di progettazione e prototipazione.

Per quanto concerne invece i costi di prototipazione, l'impresa ha appurato che questi si riducono di circa dieci volte rispetto alla precedente soluzione di esternalizzazione di detta operazione.

Uno dei principali vantaggi derivanti dall'impiego di tale tecnologia riscontrati dai membri del team di sviluppo di Selle Royal Spa consiste nel poter verificare la corretta integrazione tra le diverse componenti già durante la fase di progettazione. I dubbi riguardanti l'esatta interazione tra i molteplici elementi costitutivi della sella sono infatti all'ordine del giorno e la creazione di un modello fisico in tempi brevi permette di constatare rapidamente la presenza di eventuali errori commessi durante gli step di sviluppo. La stampante 3D consente pertanto di anticipare la rilevazione di determinate problematiche e di risolverle tempestivamente.

L'azienda si serve di detto strumento esclusivamente per il compimento del processo di prototipazione e l'investimento sostenuto per la sua acquisizione non si è rilevato eccessivamente oneroso. Secondo quanto affermato dal Project Manager, questa tecnologia non presenta evidenti punti di debolezza e i benefici offerti hanno già ampiamente ripagato l'esborso iniziale. L'unico svantaggio viene ravvisato nell'impossibilità di impiegare gli stessi materiali utilizzati in fase di produzione per la costruzione dei modelli fisici. È per tale motivo che, in alcuni casi, Selle Royal Spa è ancora costretta a rivolgersi a fornitori esterni per la realizzazione di particolari prototipi al fine di eseguire opportune valutazioni riguardanti soprattutto la resistenza e la robustezza della sella oggetto di progettazione. La necessità di ricorrere a questi

partner sta tuttavia progressivamente diminuendo grazie al continuo miglioramento delle competenze possedute dai membri del team nell'uso della stampante 3D a loro disposizione.

A detta del Project Manager dell'azienda, il miglioramento delle prestazioni offerte dai materiali di stampa rappresenta uno degli sviluppi maggiormente attesi da parte degli utilizzatori di tale tecnologia, progresso che consentirebbe un'ulteriore diminuzione dei costi di elaborazione e prototipazione di nuovi prodotti.

Per la sua introduzione all'interno dell'impresa si è rivelato indispensabile istruire gli addetti che avrebbero poi dovuto utilizzarla. Queste figure sono state affiancate dai tecnici dell'azienda fornitrice del macchinario nel corso del periodo di sua implementazione e hanno successivamente seguito specifici corsi di formazione e aggiornamento. L'adozione della stampante non ha dunque richiesto l'assunzione di particolari professionalità e il personale dell'Ufficio Tecnico è stato quello maggiormente impegnato nel processo di apprendimento delle conoscenze relative alla sua fruizione.

Come esplicitato in precedenza, Selle Royal Spa esegue al proprio interno dei test, definiti "*pressure mapping*", per verificare attraverso speciali software quali siano i punti in cui la sella oggetto di sviluppo risulti maggiormente sottoposta a pressioni. Viene utilizzata una bicicletta robotizzata dotata di una sorta di cuscinetto posizionato sulla sella che, una volta collegato a un computer, rileva l'intensità delle sollecitazioni esercitate dal peso del ciclista nelle diverse zone della sella stessa. Tali analisi vengono effettuate sulla base delle varie posizioni di guida che può assumere la persona in modo da creare un prodotto adeguato per l'utilizzo che ne sarà fatto e che presenti requisiti tecnici scientificamente provabili.

Come già detto, le selle sviluppate dall'impresa vengono spesso consegnate a squadre locali e professionistiche per lo svolgimento di test su strada al fine di ricevere importanti feedback riguardanti le loro caratteristiche funzionali. Il Gruppo Selle Royal Spa da qualche tempo ha stretto un accordo di collaborazione con il Team Sky, formazione che fa uso dei prodotti aziendali anche nel corso delle competizioni ufficiali (Figura 6). A testimonianza di questo, il Project Manager ha affermato quanto segue: "*Capita spesso che arrivi la sella del tre volte vincitore del Tour de France, Christopher Froome, in sede a Pozzoleone perché necessita di piccoli accorgimenti di carattere tecnico.*"

Quando ciò si verifica, il nostro team deve immediatamente attivarsi per risolvere le problematiche riscontrate.”



Figura 6. Fi'zi:k Arione VS Team Sky

Ciò sta a confermare l'assoluta e indiscussa qualità che caratterizza gli articoli realizzati dal Gruppo Selle Royal Spa, un'azienda alla continua ricerca di soluzioni originali e innovative che garantiscano a qualsiasi tipologia di consumatore, dal ciclista saltuario al campione affermato, il soddisfacimento delle rispettive esigenze.

L'obiettivo futuro del Gruppo Selle Royal Spa è quello di continuare a investire nello sviluppo di prodotti sempre più all'avanguardia, di espandersi ulteriormente e di proseguire nel percorso di globalizzazione iniziato circa un ventennio fa.

3.2 Protomaker Srl

3.2.1 L'azienda e il suo contesto operativo

Nel paragrafo precedente è stato analizzato il caso di un'impresa che ha di recente deciso, sostenendo ingenti costi in termini di acquisto del macchinario e di formazione del personale, di introdurre all'interno del proprio processo di sviluppo la tecnologia della stampa 3D, strumento ritenuto fondamentale per la futura crescita aziendale anche in ambito internazionale.

Purtroppo però, non tutte le realtà imprenditoriali, in particolare quelle di piccole e medie dimensioni, hanno le risorse necessarie per effettuare investimenti di questa portata e ciò le costringe spesso ad abbandonare progetti innovativi potenzialmente in grado di garantire elevati ritorni dal punto di vista economico.

È per far fronte alle esigenze di tale categoria di imprese che negli ultimi anni sono nate diverse aziende con l'obiettivo di offrire nuovi ed efficienti servizi di progettazione e prototipazione rapida che permettano la realizzazione di prodotti originali e dall'elevata qualità, consentendo altresì una sensibile riduzione dei costi e tempi legati alla loro creazione. Una di queste è Protomaker Srl, società fondata da tre giovani imprenditori veneti nel maggio 2013 con sede a Dosson di Casier, in provincia di Treviso. Un ruolo decisivo nella sua costituzione è stato ricoperto dall'azienda Telebit Holding Srl che ha fornito, oltre agli spazi necessari allo svolgimento dell'attività e le proprie conoscenze in campo tecnico e commerciale, anche una consistente parte del capitale societario indispensabile per il suo avvio, di cui detiene il 40% delle quote di partecipazione. La Telebit Holding Srl si occupa di telecomunicazioni fisse e mobili e per Protomaker Srl è da considerarsi una sorta di "incubatore" d'impresa, constatato il notevole impegno profuso nel favorirne la nascita.

L'oggetto sociale di Protomaker Srl si può sinteticamente riassumere nei seguenti principali punti di interesse inerenti la trattazione:

- La progettazione, lo studio, lo sviluppo, la modellazione, la prototipazione rapida, la produzione e la commercializzazione di prototipi, componenti, semilavorati e prodotti finiti realizzati in materie plastiche o di altro genere;
- La progettazione, lo studio, lo sviluppo e la produzione di stampi e dei relativi accessori.

L'azienda opera dunque nel settore del *rapid prototyping* e del *rapid manufacturing*, proponendosi come un partner in grado potenzialmente di sviluppare qualsiasi progetto, avvalendosi delle specifiche abilità possedute dal personale nel campo della progettazione e realizzazione di modelli e oggetti finiti di considerevole qualità. La sua attività, principalmente rivolta a clienti veneti, si basa sul lavoro svolto da un paio di figure professionali che si occupano sia delle questioni tecniche sia di quelle organizzativo-amministrativo-commerciali alle quali può aggiungersi, in caso di necessità, la collaborazione di altre competenze esterne. L'organico in forza oggi all'impresa è dunque composto solamente da due soggetti direttamente coinvolti nell'erogazione dei servizi offerti, anche se con mansioni differenti. Il Responsabile Marketing Design & Project ha il compito di curare principalmente gli aspetti di carattere gestionale e commerciale relativi ai programmi di sviluppo, mentre il

Responsabile Tecnico svolge, nello specifico, le operazioni di progettazione del prodotto. Nonostante questa suddivisione dei ruoli, entrambi possiedono le conoscenze occorrenti per seguire interamente lo sviluppo dell'articolo e per espletare la fase di prototipazione.

La mission di Protomaker Srl è quella di facilitare l'accostamento delle capacità tecniche e delle competenze di carattere manuale che contraddistinguono le attuali piccole e medie aziende del territorio con le vastissime applicazioni e gli enormi vantaggi offerti dall'innovazione tecnologica e in particolare dall'impiego della stampa 3D, fattori che, se combinati opportunamente tra loro, possono generare nuove soluzioni di posizionamento sul mercato. Anche nei contesti operativi in cui l'avanzamento tecnologico assume meno importanza o sembra seguire un ritmo inferiore, l'utilizzo di tali strumenti può assicurare l'ottenimento di rilevanti benefici, garantendo un miglioramento delle complessive prestazioni di prodotto.

L'approccio tradizionalista, poco propenso al cambiamento che caratterizza la maggioranza delle imprese in questione, rappresenta uno dei principali ostacoli al rinnovamento del portafoglio prodotti e al conseguente mantenimento o incremento del vantaggio competitivo nei confronti dei concorrenti. L'obiettivo primario che Protomaker Srl si è posta, è quello di incoraggiare un radicale mutamento di questa mentalità nel tentativo di far comprendere agli imprenditori locali quanto risulti essenziale l'impiego di tecnologie all'avanguardia e nello specifico della stampa 3D al fine di fronteggiare la continua richiesta di articoli sempre più personalizzati e dalle elevate performance funzionali. I servizi da essa offerti consentono pertanto a tale tipologia di realtà industriali di avvicinarsi sensibilmente al mondo dell'innovazione e di intraprendere originali progetti che verrebbero altrimenti messi da parte a causa della mancanza delle necessarie risorse.

Per poter soddisfare adeguatamente le esigenze dei propri clienti, l'azienda ha dovuto dotarsi di appropriate tecnologie di progettazione e prototipazione (e produzione). Lo strumento base per eseguire le diverse attività di sviluppo è costituito dal software di modellazione 3D "SolidWorks", che è accompagnato da un programma FEM adoperato per lo svolgimento delle principali analisi di simulazione del funzionamento del prodotto e quindi per la valutazione delle diverse alternative in esame. I test sul comportamento dell'oggetto permettono ai tecnici di verificare il livello di resistenza a sforzi e sollecitazioni da parte dell'articolo, nonché di osservare le sue generali

prestazioni.

Per quanto concerne le operazioni di prototipazione ed eventualmente di produzione, Protomaker Srl ha deciso di servirsi di una stampante 3D FDM, modello Fortus 250 di Stratasys, il cui acquisto ha richiesto un rilevante investimento per un valore complessivo di circa 50.000 euro. Questa tecnologia utilizza un particolare materiale termoplastico resistente e performante denominato "ABS plus", che permette di ottenere prototipi precisi e durevoli nel tempo. Il suo tasso medio di impiego giornaliero si aggira sulle dieci ore e ciò consente di ammortizzarne in maniera appropriata il costo iniziale; una volta impostata e avviata, la macchina non necessita di una costante assistenza da parte del personale e potrebbe quindi potenzialmente lavorare in autonomia per l'intero arco della giornata, incrementando così l'efficienza del suo rendimento.

Considerati gli elevati costi di acquisizione dei macchinari, per l'impresa non è stato possibile munirsi di un numero superiore di stampanti. Al fine di sopperire a tale difficoltà e di garantire un'offerta di servizio completa, ha dunque instaurato una rete di collaborazione con altre realtà imprenditoriali operanti nel medesimo settore, ma che hanno scelto di avviare la propria attività attrezzandosi con differenti sistemi di stampa 3D (in particolare *Stereolithography, Selective Laser Sintering, Polyjet, Multijet Printing, Direct Metal Laser Sintering, Color Jet Printing*).

Le aziende concorrenti presenti nella zona sono circa una decina e con alcune di queste Protomaker Srl ha preferito costruire specifici rapporti di cooperazione B2B, anziché entrare in diretta competizione. Tale strategia consente alle diverse imprese di "scambiarsi" idealmente le macchine a loro disposizione e di approcciarsi così al mercato con la gamma completa di stampanti. Oltre all'evidente vantaggio appena esplicitato, dette sinergie permettono ai vari partner di contenere sensibilmente i costi e di poter sfruttare un bacino di utenza a livello di clientela decisamente maggiore. Potendo contare su una vasta gamma di stampanti 3D, riescono così a soddisfare ampiamente ogni tipo di richiesta proveniente dal mercato.

Per quanto riguarda i risultati di carattere economico, l'azienda, constatate le limitate dimensioni attuali dovute essenzialmente alla sua recente costituzione, non presenta dati di bilancio (al 31/12/2015) particolarmente significativi. Il fatturato ammonta infatti a 71 mila euro, in contrazione rispetto ai 110 mila euro fatti registrare nell'esercizio precedente. A tali valori corrisponde una altrettanto netta diminuzione

anche dei costi di produzione, passati da 104 mila euro a 68 mila euro. L'impresa ha chiuso il periodo con un risultato finale di sostanziale pareggio (utile pari a 290 euro), in leggera riduzione se comparato con i 2 mila euro conseguiti nell'esercizio 2014⁶⁹. Come detto, questi numeri non possono ritenersi molto rilevanti considerata la giovanissima età dell'azienda che ha dovuto impegnarsi fortemente nella promozione dei propri servizi verso il potenziale pubblico di clienti nei suoi primi anni di attività. Le prospettive future sono comunque piuttosto incoraggianti in quanto negli ultimi tempi una quantità sempre maggiore di realtà imprenditoriali comincia a rivolgersi a Protomaker Srl per la progettazione e la prototipazione di nuovi prodotti. Tale fattore, unito alla crescente cognizione dei possibili notevoli vantaggi garantiti dall'impiego della stampa 3D, fanno dunque ben sperare i manager dell'impresa per gli anni a venire.

3.2.2 Esame degli step di sviluppo e delle tecnologie impiegate

Come già affermato, Protomaker Srl offre vari servizi che vanno dalla progettazione alla prototipazione degli oggetti e, in alcuni casi, fino alla loro diretta produzione. Il processo seguito per lo sviluppo di un nuovo prodotto è suddiviso in diversi passaggi (vedi Tabella 18).

Il primo step da effettuare consiste nel discutere con il committente quali debbano essere le caratteristiche estetiche e funzionali dell'articolo, per poi disegnare uno schizzo che ne riproduca la forma e la configurazione desiderate.

Lo stadio successivo prevede di generare una rappresentazione a computer del concept prima in 2D, per definire con maggior dettaglio le varie sezioni dell'oggetto, e successivamente in 3D al fine di osservare e valutare con maggior precisione la corrispondenza tra l'idea iniziale e il modello creato. Il prototipo virtuale permette ai tecnici di riscontrare rapidamente la presenza di eventuali errori o interferenze tra le molteplici componenti, nonché di verificare i principali aspetti riguardanti la complessiva funzionalità del prodotto tramite il compimento di specifiche analisi di simulazione. Nel caso in cui esista già un modello fisico ma il committente voglia apportarvi specifiche modifiche al fine di migliorarne alcuni requisiti, Protomaker Srl può eseguire operazioni di *reverse engineering* attraverso uno scanner 3D e risalire alla rappresentazione matematica tridimensionale dell'articolo, consentendone quindi la riprogettazione.

⁶⁹ PROTOMAKER SRL, *Bilancio d'esercizio al 31/12/2015*.

Durante la fase susseguente si procede alla realizzazione, tramite l'utilizzo di una stampante 3D, del prototipo fisico (anche a colori), per mezzo del quale è possibile giudicare l'effettiva fattibilità del progetto e la correttezza delle operazioni svolte fino a quel momento (esempio in Figura 7). A seconda delle esigenze, può venire generato per condurre analisi di carattere estetico o tecnico (vedi Tabella 19). Se l'oggetto da creare presenta elevate dimensioni, si rende necessario costruire le diverse componenti e poi assemblarle tra loro. Una volta completato il modello reale del prodotto, vengono effettuati ulteriori test per esaminare nuovamente il suo concreto comportamento.

L'ultimo passaggio relativo alle fasi di progettazione e prototipazione è costituito dallo svolgimento delle cosiddette attività di "*fine-tuning*", ovvero quegli interventi di post-lavorazione (lisciatura, lucidatura, verniciatura, cromatura, metallizzazione, ecc...) eseguiti al fine di migliorare la qualità e gli attributi estetici del prototipo.

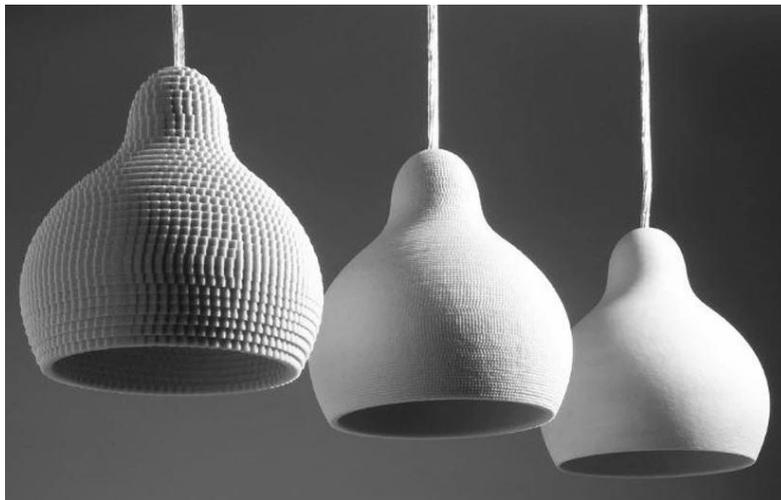
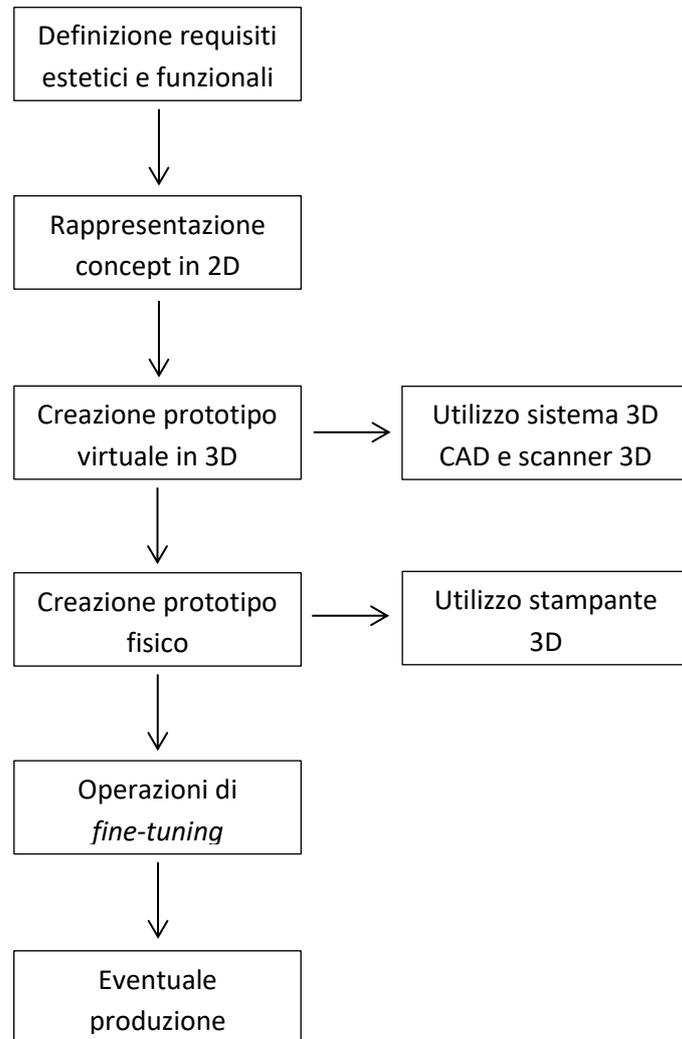


Figura 7. Prototipi di lampadari

Dopo aver completato questi step, Protomaker Srl può fabbricare alcuni prototipi pre-serie (vedi Tabella 19) oppure, su richiesta del cliente, piccoli lotti di produzione di componenti o parti finite, pronti per essere assemblati o venduti direttamente al pubblico di consumatori. Nel caso non risulti conveniente effettuare tale operazione esclusivamente con le tecnologie di stampa 3D ma si riveli necessario anche l'impiego dei tradizionali macchinari, il personale dell'impresa studia e analizza nel dettaglio quale possa essere il metodo produttivo più efficace ed efficiente che assicuri un'accurata realizzazione degli articoli. Può inoltre impegnarsi nella ricerca e nella creazione di un

adeguato brand di prodotto al fine di consegnare al committente un pacchetto completo pronto per essere lanciato sul mercato.

Tabella 18. Fasi del processo di sviluppo di Protomaker Srl e strumenti impiegati⁷⁰.



⁷⁰ Elaborazione personale su fonte: dati aziendali.

Tabella 19. Tipologie di prototipi realizzati da Protomaker Srl e finalità legate alla loro creazione⁷¹.

	Tipologie prototipi		
	Prototipo estetico	Prototipo tecnico	Prototipo pre-serie
Finalità	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Valutazione idea di massima ➤ Valutazione dimensioni e forme ➤ Prime valutazioni tecniche 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Valutazioni funzionali ➤ Valutazioni produttive ➤ Valutazioni marketing 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Valutazione tempi e costi di produzione ➤ Valutazione flessibilità di produzione

Questo processo prevede un continuo ciclo di tentativi ed errori. Poter utilizzare uno strumento come la stampante 3D garantisce una sostanziale riduzione delle tempistiche di sviluppo, nonché un sensibile aumento della complessiva qualità dell'articolo finito; ciò è principalmente riconducibile alla possibilità di verificare le conseguenze derivanti dalla modifica di qualche requisito progettuale attraverso la rapida generazione di un modello tangibile.

Una delle decisioni fondamentali da assumere per la costruzione dei prototipi o dei prodotti riguarda la tipologia di macchinario da impiegare, FDM, SLA, SLS, ecc... . Per effettuare tale scelta, le caratteristiche valutate dal personale dell'azienda sono principalmente quattro: gli attributi tecnici che dovrà avere l'oggetto (funzionalità, dimensioni, livello di precisione, resistenza, ecc...); il numero di pezzi da creare; il motivo per cui viene richiesto il modello fisico (per giudizi estetici del cliente finale, per considerazioni relative al suo comportamento, ecc...); l'esigenza di sottoporlo a particolari sforzi meccanici durante le fasi di utilizzo. In base all'esame congiunto di questi aspetti, è pertanto necessario determinare quale categoria di stampante sia la più adatta per raggiungere i generali obiettivi prestabiliti. Solitamente per la costruzione di prototipi o prodotti dalle dimensioni elevate risulta preferibile l'uso di macchinari FDM o SLS, mentre per quanto concerne oggetti piccoli e con un grado di precisione e dettaglio maggiore, la tecnologia SLA si rivela la migliore soluzione. I sistemi SLS si dimostrano invece convenienti se adoperati per la produzione di una modesta quantità di pezzi (30/60).

⁷¹ Elaborazione personale su fonte: dati aziendali.

Le varie realtà imprenditoriali possono rivolgersi a Protomaker Srl per lo svolgimento di determinate attività o per avviare da zero un nuovo processo di sviluppo. La possibilità di entrare in qualsiasi fase del suddetto ciclo rappresenta un fondamentale punto di forza per l'azienda e allarga di molto il numero di potenziali clienti a cui può venire offerta una efficace consulenza.

Capita infatti spesso che alcuni di questi elaborino all'interno della propria funzione di progettazione il modello tridimensionale di prodotto e, non essendo dotati dei macchinari adatti, richiedano quindi all'impresa oggetto di studio di realizzare il prototipo fisico allo scopo di verificarne le funzionalità e caratteristiche estetiche (ad esempio Came).

Inoltre può accadere che si presenti un'azienda con una bozza di idea raffigurata su un semplice foglio di carta e che si affidi ai tecnici di Protomaker Srl per sviluppare dall'inizio il progetto sulla base di specifiche indicazioni. In questo caso si rende necessario ripercorrere i diversi step elencati precedentemente e dunque creare prima il modello 2D e poi quello 3D, ricevere la conferma da parte del committente, procedere all'esecuzione della fase di prototipazione e infine, eventualmente, a quella di produzione. Da quando viene completato il definitivo disegno 2D, il tempo occorrente per la generazione della rappresentazione 3D va indicativamente dai tre ai cinque giorni, mentre per la realizzazione fisica del primo pezzo finito bisogna attendere, in media, ulteriori due settimane. Senza l'impiego della tecnologia di stampa 3D tali tempistiche si allungherebbero a poco meno di due mesi; essa consente quindi una riduzione di circa il 50% della normale durata del processo. Questi valori possono ovviamente variare a seconda della forma e configurazione dell'oggetto da costruire. Invece, per quel che riguarda i costi di prototipazione e produzione, le principali determinanti sono costituite dal volume dell'articolo, il tipo e la quantità di materiale adottato, il numero di pezzi da eseguire, nonché l'ammontare di ore di lavorazione richieste alla macchina.

L'utilizzo della stampa 3D può rivelarsi spesso l'unica soluzione possibile per creare un prodotto dalle particolari geometrie o che risponda a specifiche esigenze del cliente, la cui realizzazione con le tradizionali tecniche di produzione richiederebbe la costruzione di costosissimi stampi (anche fino a 100.000 euro). Tuttavia, una volta disponibile lo stampo, gli oneri legati alla fabbricazione dell'articolo risultano inferiori di circa dieci volte rispetto all'esecuzione della medesima operazione attraverso una stampante 3D. Considerati tali aspetti, per lo svolgimento delle attività di produzione il personale di

Protomaker Srl valuta attentamente quale tecnica si dimostri pertanto la più adeguata e conveniente per soddisfare i bisogni delle imprese clienti. Solitamente, una volta fabbricati i primi lotti di prodotto, l'impiego dei macchinari in loro dotazione comincia a essere svantaggioso in termini di tempi e costi rispetto alla realizzazione di uno stampo. Sulla base del numero totale previsto di pezzi da produrre, viene dunque effettuata un'analisi di carattere economico allo scopo di definire il limite quantitativo massimo oltre il quale si rivela più efficiente abbandonare l'utilizzo della stampa 3D e procedere nel costruire un nuovo stampo per generare gli articoli attraverso l'uso delle tradizionali macchine.

3.2.3 Destinatari dei servizi offerti dall'azienda

Una delle fondamentali peculiarità che caratterizzano l'azienda oggetto di esame è costituita dal fatto che i servizi offerti si rivolgono potenzialmente a qualunque impresa appartenente a qualsivoglia settore. Come detto nelle pagine precedenti, vuole fornire l'opportuno supporto a tutte quelle piccole e medie realtà imprenditoriali che faticano nel portare avanti i loro progetti innovativi a causa della mancanza di risorse. Tali imprese possono risultare inoltre poco propense a spendere ingenti somme di denaro per munirsi di una macchina di stampa 3D se il suo prevedibile tasso di impiego sarà modesto, fattore che probabilmente le condurrà al preventivo abbandono di interessanti idee di sviluppo. Protomaker Srl consente loro di impegnarsi in quelle attività progettuali che altrimenti verrebbero tralasciate.

Le prestazioni garantite possono comunque tornare utili anche a quelle aziende di rilevanti dimensioni che hanno già investito nell'acquisizione di una stampante 3D, ma che necessitano di utilizzare una differente tipologia di macchinario, rispetto a quello in loro dotazione per costruire oggetti con particolari requisiti; è infatti molto difficile che un'impresa disponga al proprio interno di una completa gamma di sistemi per la stampa 3D.

Gli elevati costi da sostenere per formare i dipendenti sulla corretta fruizione di queste macchine rappresentano un ulteriore ostacolo alla loro diffusione e adozione nei vari contesti industriali e non. Senza un'adeguata comprensione delle loro modalità di utilizzo, si corre il rischio di commettere errori e sprecare ingenti risorse economiche. Considerate tali difficoltà, il personale qualificato di Protomaker Srl assicura l'espletamento di un servizio competente e basato sull'esperienza che possa soddisfare

al meglio le svariate esigenze manifestate dal cliente.

Le aziende, che si affidano a Protomaker Srl per lo svolgimento delle fasi di progettazione, prototipazione e produzione, appartengono a molteplici settori quali: illuminazione, meccanica, articoli per la casa, serramentistica, gioiello (Figura 8), rubinetteria (Figura 9), arredamento, calzaturiero, ospedaliero, ceramica, sistemi di sicurezza, ecc... (vedi Tabella 20).



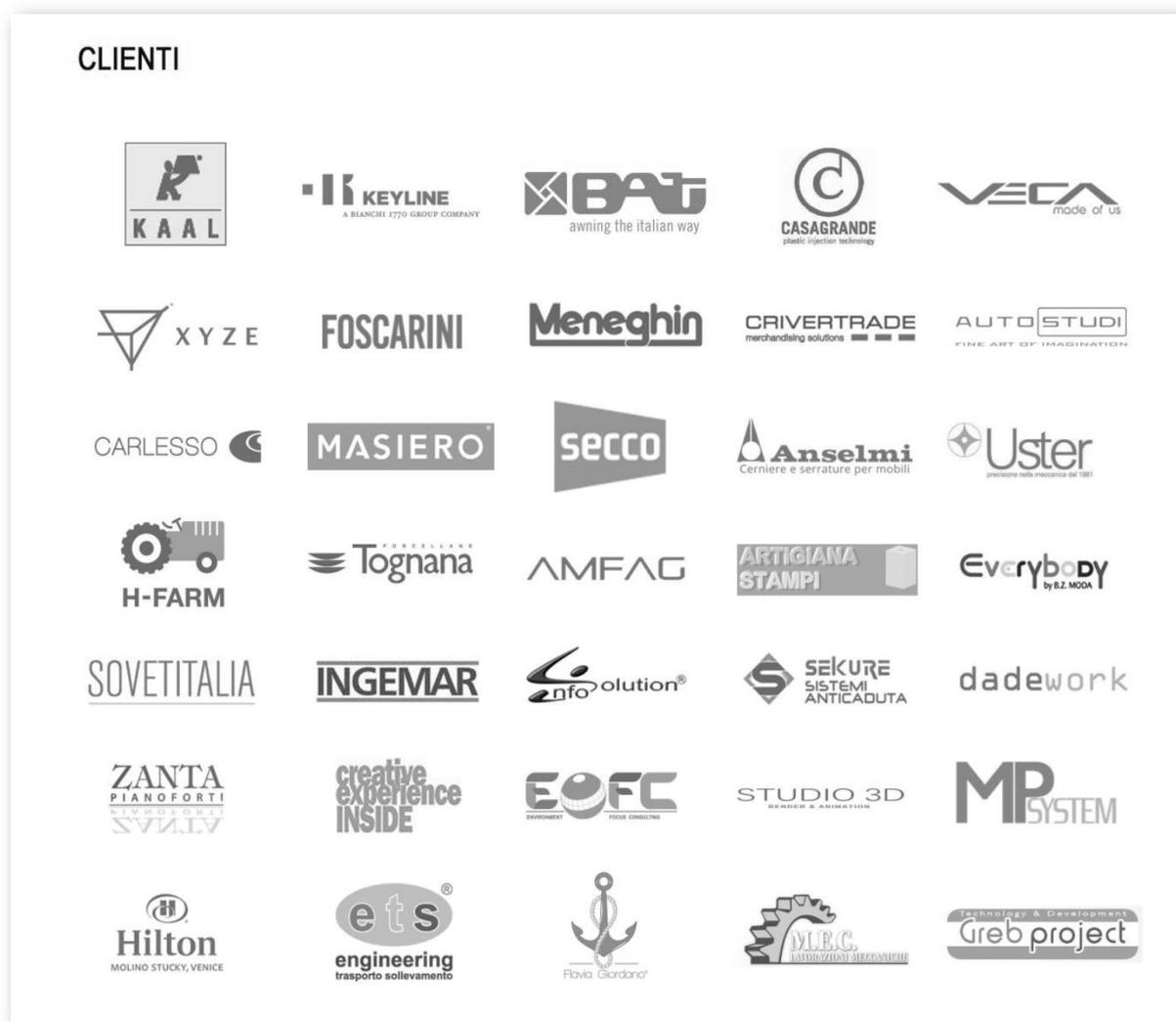
Figura 8. Prototipo di gioiello



Figura 9. Prototipo di rubinetto

Ciò sta a dimostrare come la tecnologia della stampa 3D possa venire applicata efficientemente in una grande varietà di situazioni, garantendo potenzialmente l'ottenimento di importanti vantaggi a qualsiasi tipologia di realtà imprenditoriale. I tecnici che lavorano in Protomaker Srl devono pertanto avere la capacità di essere multidisciplinari e di adattarsi continuamente alle diverse circostanze che si trovano a dover affrontare. A questo proposito risultano significative le parole del Responsabile Marketing Design & Project: *“Ogni giorno ci imbattiamo in una nuova sfida, ma ci divertiamo perché c'è sempre qualcosa di nuovo da scoprire, imparare e inventare. Quando viene richiesta una consulenza, dobbiamo metterci in gioco ed essere aperti a ogni tipo di soluzione, visto che con l'innovazione si possono raggiungere risultati straordinari e impensabili”*.

Tabella 20. Principali aziende clienti di Protomaker Srl⁷².



3.2.4 Vantaggi e limitazioni derivanti dall'utilizzo della stampa 3D

Secondo i manager di Protomaker Srl, i principali benefici (confermati in pieno dai feedback ricevuti dalle loro aziende clienti) riscontrati durante l'esecuzione delle diverse attività di progettazione, prototipazione e produzione, derivanti in particolare dall'utilizzo delle stampanti 3D, si possono così riassumere:

- la possibilità per i committenti di sviluppare nuove idee che altrimenti verrebbero tralasciate;

⁷² Fonte: dati aziendali.

- una drastica riduzione delle spese e dei tempi relativi alla fase prototipale (una maestranza che realizza artigianalmente il modello costa molto di più e impiega un numero decisamente superiore di ore);
- una riduzione media del 25% del *time to market* del prodotto;
- la tempestiva rilevazione degli errori di progettazione;

Le maggiori limitazioni da questi percepite relativamente alla fruizione della stampa 3D riguardano invece:

- l'elevato costo del materiale impiegato per la creazione degli oggetti;
- la non corrispondenza tra i materiali utilizzati nelle operazioni di stampa con quelli adoperati durante la vera e propria produzione;
- la possibilità di garantire in media l'80% delle funzionalità tecniche che avrà l'articolo finito, rendendo difficoltosa la perfetta e sicura valutazione delle sue performance;
- la possibilità di produrre convenientemente solamente ridotte quantità di pezzi.

Sulla base di tali punti di debolezza, anche i responsabili aziendali di Protomaker Srl, così come il Project Manager di Selle Royal Spa, ritengono che gli sviluppi futuri riguardanti la tecnologia in questione si concentreranno nel sensibile miglioramento delle caratteristiche tecniche e funzionali assicurate dai materiali impiegati per la stampa dei prodotti. La scienza è costantemente impegnata nell'individuazione di materie prime maggiormente performanti e sostenibili: è in questo ambito che si dovranno attendere le più importanti innovazioni.

L'incremento della velocità di realizzazione degli oggetti e la contemporanea riduzione dei costi connessi rappresentano due ulteriori aspetti che potranno permettere la definitiva consacrazione e diffusione della stampa 3D.

“Una delle soddisfazioni più grandi è constatare come i clienti più scettici ritornino da noi, chiedendoci il supporto necessario ad avviare lo sviluppo di un nuovo progetto. Ciò sta a indicare non solo la qualità del nostro servizio, ma evidenzia chiaramente come tali tecnologie possano comportare un sensibile cambiamento nella mentalità e nelle modalità di operare di quelle realtà imprenditoriali da sempre contraddistinte da un approccio tradizionalista”.

Le affermazioni del Responsabile Tecnico testimoniano il notevole potenziale impatto

esercitabile dai suddetti strumenti all'interno di qualsiasi contesto aziendale e come l'innovazione sia dunque alla portata di tutti. Questi sostiene però che risulta necessario impegnarsi in una forte attività di promozione e formazione nei confronti delle piccole e medie aziende, le quali spesso non conoscono i considerevoli vantaggi offerti dalla stampa 3D. Come affermato in precedenza, uno dei principali intenti di Protomaker Srl è proprio quello di far comprendere alle imprese gli straordinari benefici economici e competitivi che potrebbero ottenere dal suo corretto impiego. Sempre il Responsabile Tecnico precisa: *“Per raggiungere tale scopo, spesso “regaliamo” il progetto ai potenziali clienti nella speranza di fidelizzarli e far capire loro la convenienza dell’approcciarsi a questo mondo”*.

Protomaker Srl è quindi un'impresa giovane e dinamica, già proiettata verso il futuro. Se nei suoi primi anni di vita ha puntato soprattutto a farsi conoscere, l'obiettivo per l'immediato futuro è quello di investire importanti risorse al fine di differenziare ulteriormente la proposta di valore ed espandere il proprio servizio in nuovi mercati. Le sue attività permettono a qualsiasi azienda di avvicinarsi al mondo dell'innovazione e costituiscono la base per la creazione di mercati di nicchia che possono assicurare rilevanti ritorni economici.

3.3 Considerazioni di sintesi

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, il Gruppo Selle Royal Spa e Protomaker Srl sono due realtà imprenditoriali accomunate dal fatto di impiegare i sistemi 3D CAD e la tecnologia di stampa 3D durante l'esecuzione dei rispettivi processi di sviluppo di nuovi prodotti.

Ciò nonostante le differenze che le contraddistinguono sono considerevoli, a partire dai *core business* e dagli obiettivi aziendali.

Il Gruppo Selle Royal Spa produce selle, accessori per biciclette, nonché articoli di abbigliamento per ciclisti, svolgendo al proprio interno gran parte delle attività necessarie per la loro elaborazione.

Protomaker Srl offre invece servizi di progettazione, prototipazione rapida ed eventualmente di produzione a terzi, in primis a quelle compagini societarie di piccole e medie dimensioni prive delle risorse occorrenti all'acquisizione di una macchina di stampa 3D e allo svolgimento *in-house* delle sopra citate operazioni.

Questa premessa risulta utile al fine di comprendere le motivazioni che hanno portato tali imprese all'adozione di un sistema 3D CAD e soprattutto all'introduzione di una stampante 3D.

Come già affermato, il primo strumento ha avuto origine alcuni decenni fa ed è oggi molto diffuso tra le aziende non costituendo dunque un particolare elemento distintivo. Per dette ragioni, nel prosieguo del paragrafo si farà esclusivo riferimento alle modalità di fruizione dei macchinari di stampa 3D da parte del Gruppo Selle Royal Spa e di Protomaker Srl durante l'effettuazione del complessivo ciclo di sviluppo e più nello specifico nel corso dell'esecuzione della fase di prototipazione. Tutti questi aspetti, uniti ai principali vantaggi e punti di debolezza ravvisati dai manager delle due imprese, sono riportati in Tabella 21 per una più efficace visualizzazione e valutazione dei punti in comune e delle primarie differenze.

Tabella 21. Impiego della stampa 3D in Gruppo Selle Royal Spa e Protomaker Srl⁷³.

	Gruppo Selle Royal Spa	Protomaker Srl
Scopo acquisizione stampante 3D	➤ Realizzazione interna di prototipi	➤ Offerta di servizi a terzi di prototipazione e produzione
Motivazioni creazione prototipo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Condivisione progressi progettuali ➤ Valutazione della possibilità di apportare eventuali modifiche progettuali ➤ Valutazione dei requisiti estetici di prodotto 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Valutazione fattibilità progetto ➤ Verifica correttezza operazioni di progettazione ➤ Esecuzione di analisi di carattere estetico o tecnico ➤ Valutazione prototipi pre-serie
Impatto sui tempi di sviluppo	➤ Riduzione media del 50%	➤ Riduzione media del 50%
Impatto sui costi di prototipazione	➤ Riduzione di circa 10 volte	➤ Drastica riduzione (dipende dalla tipologia del prodotto)
Altri vantaggi percepiti	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Notevole riduzione del <i>time to market</i> ➤ Possibilità di verificare la corretta integrazione tra le varie componenti ➤ Riscontro tempestivo di eventuali errori di progettazione ➤ Possibilità di realizzare velocemente un elevato numero di prototipi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Riduzione del 25% del <i>time to market</i> ➤ Aumento qualità del prodotto finale ➤ Possibilità di verificare l'effetto derivante da alcune modifiche progettuali ➤ Possibilità di creare geometrie complesse ➤ Tempestiva rilevazione errori di progettazione
Punti di debolezza ravvisati	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Impossibilità di impiegare gli stessi materiali usati in fase di produzione ➤ Necessità di formare i dipendenti sul corretto utilizzo della stampante 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elevati costi di acquisizione ➤ Elevati costi del materiale impiegato ➤ Non corrispondenza con i materiali utilizzati nella fase di produzione ➤ Possibilità di garantire solamente l'80% delle funzionalità del prodotto ➤ Possibilità di produrre convenientemente un numero limitato di pezzi

⁷³ Elaborazione personale su fonti: dati aziendali.

Dall'esame dei due casi di studio si possono quindi trarre importanti conclusioni. Sebbene i costi di acquisto dei macchinari professionali di stampa 3D risultino ingenti, il loro impiego nel corso delle fasi di prototipazione assicura l'ottenimento di rilevanti vantaggi per le imprese, benefici che possono ripagare in tempi rapidi l'iniziale esborso economico sostenuto. Pertanto le aziende di notevoli dimensioni, costantemente impegnate nella progettazione di prodotti dal design e dalle caratteristiche innovative, dovrebbero investire con decisione nell'adozione di tale tipologia di strumento, considerato il sensibile miglioramento delle performance dell'intero processo da questo garantito, come fatto dal Gruppo Selle Royal Spa.

Il mondo della stampa 3D risulta tuttavia sempre più accessibile anche per quelle piccole e medie imprese che non dispongono delle risorse finanziarie necessarie all'acquisizione di un macchinario, ma che ricercano con costanza e convinzione nuove soluzioni ai bisogni manifestati dai consumatori. Pure queste compagini produttive possono oggi usufruire dei considerevoli benefici derivanti dall'utilizzo di detta tecnologia grazie alla presenza di realtà imprenditoriali quali Protomaker Srl.

La stampa 3D costituisce dunque un'opportunità potenzialmente alla portata di qualsiasi azienda. La sua definitiva consacrazione richiede però una decisa opera di promozione all'interno dei diversi settori e soprattutto un cambiamento di mentalità da parte degli imprenditori con l'abbandono di quegli approcci ancora legati alle tradizionali logiche di sviluppo.

Conclusioni

“Ogni giorno ci chiediamo - Come possiamo rendere felice questo cliente? Come possiamo farlo proseguendo lungo la strada dell’innovazione? - Ce lo domandiamo perché, altrimenti, lo farà qualcun altro”.

Queste parole pronunciate da Bill Gates testimoniano, in maniera evidente, come qualsiasi impresa, che voglia stare al passo con i tempi e mantenere la propria posizione all’interno del generale contesto competitivo, debba puntare con decisione all’offerta di articoli innovativi e qualitativamente superiori rispetto a quelli proposti dalla concorrenza.

Il continuo rinnovamento del portafoglio prodotti costituisce un fondamentale obiettivo strategico da perseguire e per tale motivo le aziende determinate a sopravvivere devono concentrare i loro sforzi nel tentativo di migliorare costantemente l’efficienza e l’efficacia delle rispettive attività di sviluppo. A tal riguardo, come ribadito nel corso dell’intero elaborato, l’implementazione delle tecnologie digitali assume un ruolo essenziale.

Alla luce delle considerazioni prodotte nei capitoli precedenti, emerge con chiarezza la necessità da parte delle attuali realtà imprenditoriali di investire le opportune risorse per l’adozione e l’impiego di questi strumenti durante lo svolgimento delle fasi di progettazione e prototipazione di nuovi oggetti.

Nonostante gli elevati oneri legati all’acquisizione delle diverse tecnologie analizzate (sistemi 3D CAD, stampa 3D, Realtà Virtuale, Realtà Aumentata, *Building Information Modeling*), ciascuna di esse si dimostra in grado di garantire un notevole risparmio in termini di tempi e costi di sviluppo, nonché una sensibile riduzione del time to market dell’articolo. Tali sistemi consentono inoltre di rilevare eventuali errori di progettazione e di tenere in considerazione i vincoli posti dai successivi step di produzione e assemblaggio fin dagli stadi iniziali di elaborazione.

Un vantaggio di assoluta rilevanza, assicurato dalla loro introduzione, è riconducibile al considerevole incremento del livello di collaborazione e comunicazione tra le diverse funzioni e figure professionali impegnate nell’effettuare le molteplici attività di sviluppo. A sua volta questa circostanza comporta rilevanti conseguenze sotto il profilo organizzativo, ridefinendo l’approccio e le consuete modalità di svolgimento delle varie fasi progettuali, non più eseguite in maniera del tutto sequenziale, bensì caratterizzate

da un maggior grado di simultaneità (*concurrent engineering*).

Un altro fondamentale beneficio è costituito dall'opportunità offerta da tali tecnologie di testare e valutare numerosi aspetti relativi al funzionamento e comportamento del prodotto e di creare quindi nuova conoscenza tra i membri del team. Ciò rappresenta la condizione preliminare necessaria per la realizzazione di articoli innovativi, privi di difetti e rispondenti in modo adeguato ai bisogni espressi dai consumatori.

L'analisi dei casi di studio Gruppo Selle Royal Spa e Protomaker Srl si è rivelata essenziale per verificare l'effettivo impatto derivante dall'utilizzo di due dei suddetti strumenti (sistemi 3D CAD e stampa 3D) durante la concreta attuazione del ciclo di sviluppo.

Le conseguenze ravvisate, in termini di vantaggi e a livello organizzativo, sono pienamente in linea con quelle poste in evidenza all'interno del secondo capitolo e confermano dunque l'assoluta importanza ricoperta da queste tecnologie nel corso dello svolgimento degli step di progettazione e di prototipazione.

L'esame di tali aziende ha inoltre permesso di comprendere come i benefici garantiti dall'implementazione dei sopra citati strumenti siano davvero alla portata di qualsiasi impresa. Sia società affermate come il Gruppo Selle Royal Spa, sia realtà imprenditoriali di ridotte dimensioni possono accedere al mondo dell'innovazione investendo direttamente nell'acquisto di specifici sistemi o affidandosi a fornitori esterni di servizi come Protomaker Srl.

Sebbene ciascuna delle tecnologie oggetto di trattazione presenti ancora alcuni punti di debolezza, il loro impiego risulta essenziale per tutte quelle compagini produttive impegnate in contesti altamente competitivi dove la realizzazione di originali prodotti si dimostra spesso l'unica soluzione possibile per vincere le sfide di mercato con i rispettivi concorrenti.

L'imprenditore e inventore americano Robert Norton Noyce ha affermato: *"L'innovazione è tutto. Quando si è in prima linea si riesce a vedere quale sarà la prossima innovazione necessaria. Quando si è dietro, si devono spendere le energie per recuperare terreno"*.

Quindi per le aziende d'oggi che intendono raggiungere o consolidare una posizione di leadership di mercato, oltre al fondamentale contributo assicurato dalle competenze

possedute dal capitale umano, si rivela sempre più indispensabile investire nell'adozione di moderni strumenti di supporto all'esecuzione del processo di sviluppo.

Elenco tabelle

Tabella 1. Fasi e sotto-fasi del processo di sviluppo di un nuovo prodotto e strumenti impiegati a supporto del loro svolgimento.

Tabella 2. Esempio di Concept Combination Table. Combinazione di alcune possibili soluzioni relative ai vari sotto-problemi identificati.

Tabella 3. Esempio di matrice relativa al processo di *concept screening*.

Tabella 4. Esempio di matrice relativa al processo di *concept scoring*.

Tabella 5. Caratteristiche distintive dei metodi deduttivo e induttivo.

Tabella 6. Principali vantaggi, svantaggi, complessità, impatti a livello organizzativo e sulle competenze aziendali derivanti dall'implementazione dei sistemi 3D CAD.

Tabella 7. Caratteristiche basilari delle tre principali tecniche e categorie di macchinari.

Tabella 8. Principali vantaggi derivanti dall'impiego della stampa 3D durante le fasi di prototipazione e produzione.

Tabella 9. Punti di debolezza e impatti a livello organizzativo e sulle competenze aziendali derivanti dall'implementazione della stampa 3D nelle diverse fasi di utilizzo.

Tabella 10. Potenziali vantaggi derivanti dall'adozione di Realtà Virtuale o Realtà Aumentata durante il processo di sviluppo di nuovi prodotti e limiti connessi.

Tabella 11. Principali applicazioni del BIM con riferimento agli attori del processo.

Tabella 12. Limiti allo sviluppo del BIM e conseguenze derivanti dal suo impiego a livello organizzativo.

Tabella 13. Dati relativi al mercato italiano della bicicletta riferiti al 2016 e pubblicati da ANCMA.

Tabella 14. Struttura del Gruppo Selle Royal Spa al 30/06/2016.

Tabella 15. Composizione ricavi Gruppo Selle Royal Spa negli ultimi due esercizi.

Tabella 16. Risultati economici Gruppo Selle Royal Spa relativi agli ultimi due esercizi.

Tabella 17. Fasi del processo di sviluppo di Selle Royal Spa e strumenti impiegati.

Tabella 18. Fasi del processo di sviluppo di Protomaker Srl e strumenti impiegati.

Tabella 19. Tipologie di prototipi realizzati da Protomaker Srl e finalità legate alla loro creazione.

Tabella 20. Principali aziende clienti di Protomaker Srl.

Tabella 21. Impiego della stampa 3D in Gruppo Selle Royal Spa e Protomaker Srl.

Elenco figure

Figura 1. Selle Royal Lookin 3D Athletic.

Figura 2. Selle Royal Scientia A>1.

Figura 3. Selle Royal Ta+too.

Figura 4. Fi'zi:k Arione 00.

Figura 5. Brooks England Team Pro Chrome.

Figura 6. Fi'zi:k Arione VS Team Sky.

Figura 7. Prototipi di lampadari.

Figura 8. Prototipo di gioiello.

Figura 9. Prototipo di rubinetto.

Bibliografia

ARCH-VISION, Press Release: Q4 2015 European Architectural Barometer, 2015.

AZHAR SALMAN, Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, *Leadership and Management in Engineering* 11, 2011.

BABA YASUNORI, KENTARO NOBEOKA, Towards knowledge-based product development: the 3-D CAD model of knowledge creation, *Research Policy* 26, Elsevier, 1998.

BECKER MARKUS C., SALVATORE PASQUALE, ZIRPOLI FRANCESCO, The impact of virtual simulation tools on problem-solving and new product development organization, *Research Policy* 34, Elsevier, 2005.

BECKER MARKUS C., ZIRPOLI FRANCESCO, Problem-Solving by Abduction in New Product Development, *Journal of the IGPL*, 2006.

BELTRAMETTI LUCA, GASPARRE ANGELO, La stampa 3D come nuova sfida tecnologica al lavoro manifatturiero, XXVI Convegno annuale di Sinergie, 2014.

BERMAN BARRY, 3-D printing: The new industrial revolution, *Business Horizons* 55, Elsevier, 2012.

BRYDE DAVID, BROQUETAS MARTÌ, VOLM JURGEN MARC, The project benefits of Building Information Modeling (BIM), *International Journal of Project Management* 31, Elsevier, 2013.

CAMPBELL THOMAS, WILLIAMS CHRISTOPHER, IVANOVA OLGA, GARRETT BANNING, Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Atlantic Council, Strategic Foresight Report, 2011.

CAPUTO FRANCESCO, DI GIRONIMO GIUSEPPE, La realtà virtuale nella progettazione industriale, Aracne, Roma, 2007.

CARMIGNIANI JULIE, FURHT BORKO, ANISETTI MARCO, CERAVOLO PAOLO, DAMIANI ERNESTO, IVKOVIC MISA, Augmented reality technologies, systems and applications, *Multimedia Tools and Applications*, 2010.

CECIL J., KANCHANAPIBOON A., Virtual engineering approaches in product and process design, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 31, Springer-Verlag London Limited, 2006.

CONFINDUSTRIA SERVIZI INNOVATIVI E TECNOLOGICI, *Fabbrica 4.0. La rivoluzione della manifattura digitale*, Il Sole 24 Ore, 2015.

D'ADDERIO LUCIANA, *Crafting the virtual prototype: how firms integrate knowledge and capabilities across organisational boundaries*, *Research Policy* 30, Elsevier, 2001.

DALLA MORA T., PERON F., CAPPELLETTI F., ROMAGNONI P., RUGGERI P., *Una panoramica sul Building Information Modelling (BIM)*, AiCARR, 2014.

FIXSON SEBASTIAN K., PARK JIN-KYU, *The power of integrality: Linkages between product architecture, innovation, and industry structure*, *Research Policy* 37, Elsevier, 2008.

FONDAZIONE NORD EST, PROMETEIA, *Il 1° rapporto sull'impatto delle tecnologie digitali nel sistema manifatturiero italiano*, Fondazione Make in Italy, 2015.

GALVIN PETER, MORTEL ANDRÈ, *The effect of product modularity on industry structure: the case of the world bicycle industry*, *Industry and Innovation*, Vol. 8, 2001.

GRAJEWSKI DAMIAN, GÓRSKI FILIP, ZAWADZKI PRZEMYSŁAW, HAMROL ADAM, *Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces*, *Procedia Computer Science* 00, Elsevier, 2013.

GRUPPO SELLE ROYAL SPA, *Bilancio d'esercizio al 30/06/2016*.

HOU LEI, WANG XIANGYU, *Using Augmented Reality to Cognitively Facilitate Product Assembly Process*, Intech, 2010.

JIMENO ANTONIO, PUERTA ALBERTO, *State of the art of the virtual reality applied to design and manufacturing processes*, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer-Verlag London Limited, 2006.

KEATING STEVEN, *Beyond 3D Printing: The New Dimensions of Additive Fabrication*, *Designing for Emerging Technologies*, MIT, O'Reilly Media, 2014.

KHALFAN MALIK, MAQSOOD TAYYAB, AZHAR SALMAN, Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond, Australasian Journal of Construction Economics and Building 12, 2012.

KIETZMANN JAN, PITT LEYLAND, BERTHON PIERRE, Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing, Business Horizons 58, Elsevier, 2015.

KRUNIC SINISA, PERINIC MLADEN, MARICIC SVEN, Rapid Prototyping Application, Engineering Review, 2010.

KRUTH J.-P., LEU M. C., NAKAGAWA T., Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping, Annals of the CIRP Vol. 47/2/1998, Keynote Papers, 1998.

Li W. D., LU W. F., FUH J. Y. H., WONG Y.S., Collaborative computer-aided design-research and development status, Computer-Aided Design 37, Elsevier, 2005.

LU S. C-Y., SHPITALNI M., GADH RAJIT, Virtual and Augmented Reality Technologies for Product Realization, Annals of the CIRP, Keynote Papers, 1999.

MELLOR STEPHEN, HAO LIANG, ZHANG DAVID, Additive Manufacturing: A Framework for Implementation, International Journal of Production Economics, Vol. 149, Elsevier, 2014.

MUJBER T.S., SZECSI T., HASHMI M.S.J., Virtual reality applications in manufacturing process simulation, Journal of Materials Processing Technology, Elsevier, 2004.

NEE A. Y. C., ONG S. K., CHRYSSOLOURIS G., MOURTZIS D., Augmented reality applications in design and manufacturing, Annals of the CIRP Vol. 61, Manufacturing Technology, Elsevier, 2012.

ONG S.K., PANG Y., NEE A. Y. C., Augmented Reality Aided Assembly Design and Planning, Annals of the CIRP Vol. 56/1/2007, Manufacturing Technology, Elsevier, 2007.

PROTOMAKER SRL, Bilancio d'esercizio al 31/12/2015.

SCHILLING MELISSA A., IZZO FRANCESCO, Gestione dell'innovazione, Terza Edizione, McGraw-Hill, Milano, 2013.

TAN CHONG LENG, VONDEREMBSE MARK A., Mediating effects of computer-aided design usage: From concurrent engineering to product development performance, *Journal of Operations Management* 24, Elsevier, 2006.

TERWIESCH CHRISTIAN, ULRICH KARL T., *Innovation Tournament: Creating and Selecting Exceptional Opportunities*, Harvard Business Press, 2009.

TSAI-C. KUO, SAMUEL H. HUANG, HONG-C. ZHANG, *Design for manufacture and design for "X": concepts, applications and perspectives*, *Computers & Industrial Engineering*, Pergamon, 2001.

ULRICH KARL T., EPPINGER STEVEN D., *Product Design and Development*, Fifth Edition, International Edition, 2012.

WELLER CHRISTIAN, KLEER ROBIN, PILLER FRANK T., Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited, *International Journal of Production Economics*, Elsevier, 2015.

ZORRIASSATINE F., WYKES C., PARKIN R., GINDY N., A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development, *Journal of Engineering Manufacture*, 2003.

Sitografia

<https://www.autodesk.it>

<http://www.bikeitalia.it/2012/10/03/cera-una-volta-la-bicicletta/>

http://www.corrierecomunicazioni.it/digital/36695_gartner-stampanti-3d-fuori-dalla-nicchia-il-mercato-ora-e-di-massa.htm

<https://www.dallara.it>

<http://www.dday.it/redazione/23271/in-italia-e-boom-di-bici-elettriche-124000-e-bike-vendute-nel-2016>

http://www.edilportale.com/news/2015/10/focus/bim-a-cosa-serve-e-chi-lo-user%C3%A0_48424_67.html

https://www.infocomm.org/cps/rde/xbcr/infocomm/Brochure_BIM.pdf

<http://www.protomaker.it/>

http://www.riter.it/GUIDE%20BIM/figure_BIM.pdf

<http://www.selleroyal.com>

<http://www.stratasys.com>