

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN

Meccanica e Scienze Avanzate dell'Ingegneria

Ciclo XXXII

**Settore Concorsuale: 09/A3 – PROGETTAZIONE INDUSTRIALE, COSTRUZIONI  
MECCANICHE E METALLURGIA**

**Settore Scientifico Disciplinare: ING-IND/15 - DISEGNO E METODI DELL'INGEGNERIA  
INDUSTRIALE**

TITOLO TESI

Metodo integrato di QFD e TRIZ  
nell'ottimizzazione dei prodotti industriali

**Presentata da: Giampiero Donnici**

**Coordinatore Dottorato**

**Prof. Ing. Marco Carricato**

**Supervisore**

**Prof. Ing. Alfredo Liverani**

**Esame finale anno 2020**

## Sommario

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>Introduzione</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Metodologia Lean</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Metodologia QFD</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1 Le Fasi della Metodologia QFD</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Gli strumenti del QFD: le sei domande</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 Gli strumenti del QFD: le Matrici di Interrelazione</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3.1 Costruzione delle Matrici di Interrelazione</b> .....	<b>16</b>
<b>2.4 Gli strumenti del QFD: la Matrice di Relazione (Matrice dei Cosa/Come)</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4.1 Costruzione della Matrice di Relazione (Matrice dei Cosa/Come)</b> .....	<b>19</b>
<b>2.5 Analisi QFD: i bisogni del cliente – il Modello di Kano</b> .....	<b>21</b>
<b>2.6 Gli strumenti del QFD: la Casa della Qualità</b> .....	<b>23</b>
<b>2.7 La Specifica Tecnica e la Lista di Controllo</b> .....	<b>26</b>
<b>2.8 Vantaggi e Svantaggi del QFD</b> .....	<b>28</b>
<b>2.8.1 Vantaggi del QFD</b> .....	<b>28</b>
<b>2.8.2 Svantaggi del QFD</b> .....	<b>28</b>
<b>3 Il Progetto Concettuale</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1 Il Progetto Concettuale: Formulazione Astratta del Problema</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2 Il Progetto Concettuale: Le Strutture e i Livelli Funzionali</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3 Il Progetto Concettuale: Identificazione dei Principi di Soluzione</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3.1 I Metodi Convenzionali</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3.2 Il Brainstorming</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3.3 I Metodi Deduttivi basati su Modelli Teorici e Leggi Fisiche</b> .....	<b>34</b>
<b>3.4 Il Progetto Concettuale: la Matrice Morfologica e le Varianti Concettuali</b> .....	<b>35</b>
<b>3.5 Il Progetto Concettuale: la Matrice Decisionale e la Tabella di Valutazione</b> .....	<b>36</b>
<b>4. La Metodologia Triz</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1. Triz – Modello a quattro elementi di un Sistema Tecnico (o Modello Minimo)</b> .....	<b>47</b>
<b>4.2 Principi su cui si basa la Metodologia TRIZ</b> .....	<b>48</b>
<b>4.2.1 Le Invenzioni che segnano una svolta epocale sono quelle che non accettano il compromesso per risolvere le Contraddizioni</b> .....	<b>49</b>
<b>4.2.2 Contraddizioni uguali, portano a Percorsi Solutivi uguali – Il Modello a Collina</b> .....	<b>50</b>
<b>4.3 L’ENV-model</b> .....	<b>51</b>
<b>4.4 Il Processo di Risoluzione dei Problemi Inventivi</b> .....	<b>52</b>
<b>5 Metodologia integrata di progettazione basata su QFD e TRIZ</b> .....	<b>59</b>
<b>5.1 Perché una Metodologia integrata di progettazione QFD e TRIZ?</b> .....	<b>59</b>
<b>6 Applicazioni della Metodologia integrata di progettazione basata su QFD e TRIZ</b> .....	<b>61</b>
<b>6.1 Produzione di Stampi aperti per laminazione</b> .....	<b>61</b>
<b>6.1.1 Produzione di stampi aperti: l’approccio QFD – le sei domande</b> .....	<b>62</b>
<b>6.1.2 Produzione di stampi aperti: le Matrici di Interrelazione</b> .....	<b>64</b>
<b>6.1.3 Produzione di stampi aperti: la Matrice Morfologica</b> .....	<b>66</b>
<b>6.1.4 Produzione di stampi aperti: approccio TRIZ per trovare la soluzione innovativa</b> .....	<b>71</b>
<b>6.1.5 Produzione di stampi aperti: Risultato – la Produzione Ibrida</b> .....	<b>76</b>
<b>6.1.6 Produzione di stampi aperti: Conclusione</b> .....	<b>78</b>
<b>6.2 Progettazione innovativa di un mezzo di trasporto urbano: l’Hoverboard</b> .....	<b>78</b>
<b>6.2.1 Perché applicare le energie rinnovabili ai mezzi di trasporto innovativo nelle città?</b> .....	<b>78</b>
<b>6.2.2 Hoverboard - Applicazione del metodo TRIZ per ottenere un’architettura innovativa</b> .....	<b>79</b>

<b>6.3</b>	<b>Le quattro fasi del processo di risoluzione di un problema inventivo .....</b>	<b>81</b>
<b>6.3.1</b>	<b>Descrizione generale del problema.....</b>	<b>81</b>
<b>6.3.2</b>	<b>Formulazione del problema in termini di contraddizioni tecniche.....</b>	<b>82</b>
<b>6.3.3</b>	<b>Ricerca delle soluzioni generali per risolvere le contraddizioni e traduzione delle soluzioni generali in soluzioni innovative specifiche .....</b>	<b>85</b>
	<b>Contraddizione 1 e prima indicazione della soluzione.....</b>	<b>86</b>
	<b>Contraddizione 2 e Contraddizione 3: terza indicazione di soluzione.....</b>	<b>90</b>
	<b>Contraddizione 4 e quarta indicazione di soluzione.....</b>	<b>95</b>
	<b>Contraddizione 5 e quinta indicazione di soluzione.....</b>	<b>96</b>
	<b>Contraddizione 5 e sesta indicazione di soluzione.....</b>	<b>98</b>
	<b>Contraddizione 6 e settima indicazione di soluzione.....</b>	<b>100</b>
<b>6.3.4</b>	<b>Progettazione innovativa di un Hoverboard : Conclusioni .....</b>	<b>101</b>
	<b>Conclusioni Finali .....</b>	<b>102</b>
	<b>Bibliografia: .....</b>	<b>103</b>

## ABSTRACT

Il lavoro di tesi dal titolo “Metodo integrato di QFD e TRIZ nell'ottimizzazione dei prodotti industriali” si propone in primo luogo di esaminare quelli che sono i metodi di progettazione più diffusi in ambito industriale relativamente agli aspetti della Qualità e della Progettazione Innovativa di prodotto, ovvero il QFD e il TRIZ. In seguito si propone di studiare un metodo di integrazione delle due metodologie e di applicarle a livello industriale.

Sono state approfondite le varie fasi attraverso le quali si sviluppa il metodo QFD e gli strumenti principali del QFD stesso: dalle sei domande alla matrice di interrelazione, dalla matrice di relazione (matrice dei cosa/come) al modello di Kano, dalla casa della qualità alla specifica tecnica e alla lista di controllo, nonché gli aspetti vantaggiosi o meno del metodo.

Il metodo QFD è stato anche inquadrato all'interno del Progetto Concettuale, del quale è stato approfondito l'aspetto della formulazione astratta del problema e delle strutture e dei livelli funzionali, della identificazione dei principi di soluzione e della matrice morfologica, delle varianti concettuali e della matrice decisionale.

In seguito è stata analizzata e approfondita la metodologia TRIZ: dal modello a quattro elementi di un sistema tecnico (modello minimo) ai principi di evoluzione dei sistemi tecnici, dalle contraddizioni tecniche al modello a collina, dall'ENV-model al processo di risoluzione e alla matrice delle contraddizioni.

Dopo l'approfondimento dei metodi QFD e TRIZ si è passati allo studio di una loro metodologia integrata evidenziando dapprima le motivazioni che hanno portato ad essa e svolgendo poi delle applicazioni industriali della metodologia stessa; in particolare relativamente alla progettazione di stampi aperti per laminazione e alla progettazione di un hoverboard innovativo.

Tali applicazioni hanno dimostrato la bontà del metodo e i vantaggi reciproci che l'integrazione delle metodologie QFD e TRIZ portano l'una all'altra.

## Introduzione

Considerando da un punto di vista storico l'approccio che gli ingegneri progettisti hanno avuto nel corso dell'ultimo secolo relativamente ai Metodi di Progettazione e al focus su cui hanno concentrato la propria attività progettuale, possiamo osservare che nei primi decenni del XX secolo (1900 – 1930) l'attenzione dell'ingegnere progettista era focalizzata sull'Incremento della Produttività, cioè sull'applicazione di tutte quelle Metodologie utili ad abbattere il costo unitario del prodotto. La finalità ultima dello sforzo progettuale era la Riduzione dei Costi e questo al fine di restare competitivi sui Mercati Nazionali e Internazionali, i quali richiedevano prodotti forniti a un sempre minor costo! Tutto ciò è rimasto un “must” fino ad oggi.

A metà del XX secolo (1950 – 1960) oltre al concetto di basso costo, si è fatto strada nelle “linee guida della progettazione industriale” il concetto di Qualità. La motivazione di questo cambiamento stava nel fatto che la produzione industriale in larga serie era iniziata anche nei così detti “paesi emergenti”, paesi che per tutta una serie di motivazioni (scarsa tutela dell'ambiente, scarsa tutela dei lavoratori, scarso sistema di previdenza e di assistenza sociale) offrivano prodotti ad un costo molto inferiore rispetto a quelli dei così detti “paesi industrializzati” ma tutto sommato equivalenti. Questi ultimi, non potendosi spingere oltre nella riduzione dei costi, hanno introdotto il concetto di Qualità del Prodotto, che accompagnato al più basso costo possibile ha reso attuabile la competizione con i prodotti molto più economici dei paesi che si stavano affacciando alla produzione industrializzazione. La qualità del prodotto, accompagnato al più basso costo possibile, è stato quindi il concetto dominante della progettazione industriale a partire dagli anni '60 fino agli anni '90.

Con il passare del tempo anche i “paesi emergenti” hanno introdotto il concetto di Qualità nella loro “filosofia produttiva”, per cui dopo gli anni '90 i “paesi industrializzati”, si sono trovati di fronte ad una concorrenza in grado di fornire prodotti con un elevato grado di qualità e ad un costo notevolmente contenuto. E' stato quindi necessario introdurre una nuova idea nel contesto della progettazione industriale, quello dell'Innovazione di Prodotto. Oggi siamo giunti al punto che affinché un prodotto industriale sia appetibile nel mercato internazionale, è necessario che abbia un costo contenuto, un certo grado di qualità ma anche un certo grado di innovazione.

Non possiamo affermare che prima degli anni '90 non si facesse innovazione all'interno delle aziende, ma questa non veniva fatta attraverso delle metodologie strutturate e in maniera sistematica. Le aziende si affidavano all'intuito, all'esperienza e alle doti personali dei progettisti industriali piuttosto che a delle metodologie di innovazione del prodotto.

Così come per garantire bassi Costi produttivi ed elevata Qualità è necessario disporre di Metodologie strutturate che puntino alla riduzione dei costi ed all'innalzamento della Qualità, anche per garantire un elevato livello di innovazione del prodotto è necessario disporre di Metodologie di Progettazione Innovative. Oggi potrebbe essere molto “costoso” per una azienda da un punto di vista di impiego delle proprie risorse ed energie affidarsi all'intuito, all'esperienza e alle doti personali di un progettista industriale. Senza opportune metodologie che siano in grado di “scartare” a priori le strade meno appetibili da un punto di vista innovativo (cioè quelle che hanno minori probabilità di successo) risulterà necessario prendere in considerazione e sperimentare un grande numero di idee per selezionarne infine una, o alcune poche, di successo. Ma questo tipo di processo costa molto in termini di energie e di risorse aziendali, per cui investire energie e risorse seguendo strade che poi non porteranno ad alcun risultato, per una azienda, da un punto di vista economico, è proibitivo.

Nasce da tutto questo la necessità di avere una metodologia strutturata anche per i processi di innovazione del prodotto, oltre che per quelli di riduzione dei costi e di incremento della qualità.

Vediamo quelli che sono gli approcci più strutturati e sistematici per supportare la riduzione dei Costi, l'aumento della Qualità e l'incremento dell'Innovazione dei prodotti all'interno del mondo industriale: essi sono la **Metodologia Lean** per quanto riguarda la **riduzione** dei **Costi**, la **Metodologia QFD** per quanto riguarda l'incremento della **Qualità** e la **Metodologia Triz** per quanto riguarda l'**Innovazione**.

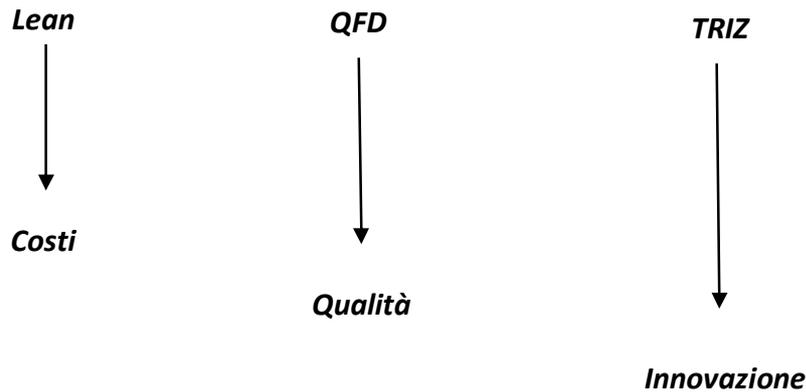


Fig.1 Metodologie Strutturate di Progettazione

## 1 Metodologia Lean

La metodologia Lean è nata in Giappone a metà degli anni '40 in seguito alle idee e al lavoro svolto da Kiichiro Toyoda e Taiichi Ohno all'interno della Toyota Motor Corporation. Essi, assieme ad altri collaboratori, modificarono il metodo di produzione elaborato da Ford agli inizi del '900 realizzando una Metodologia di produzione, la TPS = Toyota Production System, che si basa su tre obiettivi:

- snellire tutti i processi aziendali (progettuali, produttivi, gestionali, etc.)
- diminuire tutti gli sprechi (di tempo, di materie prime, di energie, di risorse, etc.);
- aumentare il valore conferito al prodotto a favore del cliente finale.

Le regole fondamentali di questa metodologia sono:

- La centralità del cliente: ovvero produrre solo ciò che il cliente desidera ed è disposto a comprare. L'attenzione verso il cliente è il punto di partenza, ma anche quello di arrivo, di tutte le attività ed azioni messe in campo dall'azienda. Chiaramente il cliente sarà disposto a comprare un prodotto solamente ad un certo prezzo e in un determinato momento, per cui i costi di produzione e le tempistiche di messa in commercio del bene sono fattori molto importanti da considerare.

- La eliminazione degli sprechi: essa passa attraverso l'eliminazione di tutte le attività che non danno alcun valore al prodotto e che quindi risultano uno spreco.

Riconoscere gli sprechi è fondamentale per la metodologia lean, e lo è in una maniera tale da avere inserito all'interno dei propri principi basilari quello del **MAP**, cioè della mappatura del flusso di valore del prodotto al fine di individuare il maggior numero di sprechi possibile; infatti di tutto il tempo dedicato e di tutte le azioni spese durante la realizzazione di un prodotto, solo una piccola parte di essi è impiegata per attribuire maggiore valore per il cliente finale. Risulta quindi importante definire il valore di un prodotto dal punto di vista del cliente, in modo da poter procedere all'eliminazione di tutte quelle attività che il cliente non ritiene un valore per il prodotto stesso; questo concetto definisce un altro dei principi chiave della metodologia lean, il **VALUE**, che consiste proprio nel ripensare il valore del prodotto secondo la prospettiva del cliente.

Durante la creazione di un prodotto si possono rilevare tre tipologie di attività: quelle che creano valore e che vanno mantenute e migliorate, quelle che non creano valore ma sono inevitabili e non possono essere eliminate e quelle che non creano valore e si possono evitare e vanno assolutamente eliminate.

Il termine giapponese che identifica le attività inutili o improduttive è "**MUDA**". In particolare il Toyota Production System (TPS) individua sette sprechi principali (sette tipi di MUDA):

- 1) Il Difetto: abbiamo dei difetti quando si realizzano degli errori all'interno del prodotto o si producono parti o prodotti non necessari. Tali difetti portano il cliente a rifiutare il prodotto finale e tutti gli sforzi e le energie impiegati a cercare questi difetti al fine di eliminarli dopo la creazione del prodotto stesso sono considerati uno spreco.
- 2) La Sovraproduzione: si verifica una sovrapproduzione quando si producono o si acquistano dei beni prima che essi siano effettivamente necessari. La sovrapproduzione inoltre deve essere immagazzinata, gestita e protetta, generando per questo motivo ulteriori sprechi. Questo tipo di spreco è molto pericoloso per le aziende perché tende a nascondersi e a non palesarsi facilmente.
- 3) Il Trasporto: i trasporti non introducono alcuna trasformazione al prodotto finale che il cliente possa valutare come un valore aggiunto e che quindi sia disposto a pagare, piuttosto ogni volta che un prodotto è trasferito da un luogo ad un altro rischia di essere danneggiato, perso, consegnato in ritardo, etc.; in pratica il trasporto può diventare un costo notevole che non produce alcun valore.
- 4) L'Attesa: quando i lavoratori "sprecano" il loro tempo nell'attesa che la "risorsa" da utilizzare per produrre il bene sia disponibile oppure quando tale risorsa è immobilizzata e non è ancora stata trasformata in un bene o in un servizio e consegnata al cliente, allora diciamo che si realizza quello spreco che va sotto il nome di attesa.
- 5) Le Scorte: fin tanto che una materia prima o un semilavorato non è stato trasformato in un prodotto finito e fin tanto che tale prodotto non è giunto al cliente finale facendo realizzare un guadagno al produttore (ma anche al cliente), abbiamo il verificarsi di uno spreco.
- 6) Il Movimento: è un tipo di spreco simile a quello del trasporto, ma si riferisce, anziché ai prodotti finiti, ai lavoratori o alle macchine utilizzate dai lavoratori per produrre il bene. I lavoratori possono avere problemi relativi alla loro sicurezza mentre le macchine possono subire problematiche dovute all'usura o al danneggiamento.

- 7) Il Processo inutilmente costoso: usare più risorse rispetto a quelle effettivamente necessarie per le attività produttive o aggiungere delle funzioni in più oltre a quelle che aveva originariamente richiesto il cliente, produce degli sprechi. C'è un particolare problema in tal senso che riguarda gli operatori. Gli operatori che possiedono una qualifica superiore a quella necessaria per realizzare le attività richieste, generano dei costi, per via delle proprie competenze, che risultano essere uno spreco nella realizzazione di attività meno qualificate.



Fig.2 Taiichi Ohno



Fig.3 Kiichiro Toyoda

- Una volta eliminati gli sprechi è necessario che tutte le attività fluiscano al meglio, al fine di ridurre il lead time e questo viene fatto attraverso una riorganizzazione dei processi che tenga conto del fatto che è necessario:
  - ✓ concentrarsi su ciò che ha valore, eliminando le interruzioni operative dovute alle funzioni aziendali, agli uffici, ai dipartimenti, ai confini tradizionali delle mansioni, alla gestione del lavoro attraverso reparti successivi, etc.
  - ✓ ridurre i livelli gerarchici e livellare i carichi di lavoro;

- ✓ standardizzare tutte le attività aziendali affinché ognuno sappia cosa fare e sappia come farlo senza perdite di tempo a causa della scarsa chiarezza degli scopi operativi o delle procedure;
- ✓ valutare, sulla base della convenienza economica e del mantenimento strategico del know-how aziendale, se esternalizzare o meno le attività che non costituiscono il core business dell'azienda;
- ✓ mettere gli operatori in grado di lavorare senza disperdere le loro energie;
- ✓ ridurre i tempi di set up in produzione.

Tutti questi punti rappresentano un altro dei punti chiave della metodologia lean, ovvero il **FLOW**, cioè l'ottimizzazione del flusso di lavoro.

- Nella filosofia Lean lo svolgimento di ciascun processo, inteso come una sequenza di attività, deve avvenire con una logica di tipo “pull” e non “push”, cioè bisogna fare in modo che sia l'attività a valle che “trascini” quella a monte e non il viceversa: ad esempio devono essere gli ordini del cliente il motore che innesca tutta una serie di attività progettuali, produttive e gestionali atte a garantire la realizzazione della vendita del bene e non deve essere invece il lancio dei lotti di produzione basato sulle stime delle previsioni di vendita attuate dall'ufficio marketing a fare da “driver” per la produzione. Questo rappresenta un altro dei punti chiave della filosofia lean che va sotto il nome di **PULL**.

Per soddisfare la richiesta del cliente con tempistiche accettabili è necessario che i tempi di attraversamento del prodotto delle varie fasi diminuiscano e la produzione non venga considerata su interi lotti ma sul singolo prodotto per volta, in modo da individuare tempestivamente eventuali anomalie.

Le scorte a magazzino vanno ridotte fino a renderle minime e questo è possibile se si produce al ritmo del “Tack Time” cioè del tempo necessario a produrre un singolo componente o l'intero prodotto. Se le stazioni produttive sono sincronizzate fra loro il flusso di produzione sarà continuo e bilanciato. Il “Tack Time” è scandito dal ritmo di acquisto dei prodotti da parte dei clienti e non dalla programmazione dei lotti di produzione ed è dato da:

$$Tack\ Time = \frac{\text{numero di ore di lavoro totali giornaliere}}{\text{numero di unità di prodotto vendute giornalmente}}$$

Il numero di ore di lavoro totali giornaliere va calcolato al netto delle pause programmate. Inoltre il “Tack Time” non va confuso con “Cycle Time” che è dato dal numero di ore di lavoro necessarie al completamento di un intero processo produttivo (per un singolo prodotto) e che è legato al “Tack Time” dalla seguente espressione:

$$n^{\circ}\ di\ operatori = \frac{Cycle\ Time}{Tack\ Time}$$

Inoltre risulta opportuno lavorare secondo una logica “just in time”, cioè cercando di disporre sulla linea produttiva dei materiali “giusti” al momento “giusto”, cioè utilizzando il minimo delle risorse, dove serve, quando serve e nella quantità che serve.

- Il miglioramento costante: esso deve essere apportato da tutti coloro che lavorano in azienda e che devono porsi come obiettivo finale la perfezione (**PERFECTION**), un altro dei principi chiave della metodologia lean. E' per questo che tutti gli addetti alla produzione del bene vanno coinvolti e responsabilizzati nella realizzazione del prodotto. Una volta decise le procedure standard da seguire e una volta stabiliti e collegati tutti i passaggi della catena produttiva, ogni individuo dovrebbe cercare di attivarsi autonomamente davanti ad eventuali errori, innanzi tutto mettendoli in evidenza e poi cercando di affrontarli in maniera proattiva. Questo potrebbe anche significare il fermo della catena produttiva, dei servizi o delle attività, al fine di limitare l'impatto dell'evento negativo sul sistema posto a valle.

Nella fig.4 sono rappresentati i cinque principi chiave della Metodologia Lean:



Fig.4 i cinque principi chiave della metodologia Lean

In sintesi il metodo Lean permette di mettere in opera processi produttivi con minori risorse, con una migliore gestione delle informazioni e senza intaccare la qualità del prodotto (in alcuni casi migliorandola), in particolare esso permette di:

- Ridurre i tempi di consegna (il "lead time"): questo grazie all'incremento della flessibilità produttiva e alla disponibilità del prodotto in tempi più brevi.
- Ridurre le scorte di semilavorati e di prodotti finiti.
- Incrementare la qualità dei prodotti e dei processi attraverso un processo di miglioramento e di perfezionamento continuo di tutta la catena produttiva.
- Ridurre i costi del prodotto e aumentare la competitività aziendale grazie all'eliminazione degli sprechi in termini di tempo e di risorse impiegate per svolgere le attività che non danno valore al prodotto, liberando in questo modo risorse da reinvestire per aumentare il valore del prodotto stesso e generare più profitti.
- Permette uno sviluppo e un incremento motivazionale del personale.
- Contribuisce all'evoluzione e allo sviluppo del prodotto in quanto pone l'attenzione alla soddisfazione del cliente e all'incremento del valore percepito dal cliente stesso.

Sebbene la Metodologia Lean provenga dal settore dell'industria automobilistica i suoi principi possono essere applicati a qualsiasi settore, come la grande distribuzione, la pubblica amministrazione, la sanità o i servizi finanziari, chiaramente in questi casi il metodo dovrà essere declinato opportunamente.

## 2 Metodologia QFD

Nel paragrafo introduttivo di questo lavoro abbiamo accennato al fatto che la riduzione dei costi è stato l'obiettivo perseguito nella progettazione industriale nei primi decenni del '900. A partire dalla metà del '900 la progettazione industriale ha cominciato ad occuparsi anche di un ulteriore aspetto relativo al prodotto, quello della Qualità.

Una delle metodologie strutturate più efficaci nel perseguire l'obiettivo della qualità è il QFD, acronimo di "Quality Function Deployment", che può essere anche tradotto come "Sviluppo o Analisi delle Funzioni della Qualità".

Nato in Giappone tra gli anni 1965-1970, il QFD venne inizialmente concepito, sviluppato ed applicato all'interno di aziende come Mitsubishi Heavy Industries e Toyota. I suoi teorici furono Yoji Akao, Shigeru Mizuno e Yasushi Furukawa.

In seguito il QFD venne importato negli Stati Uniti verso la metà degli anni '80 grazie all'impegno di Don Clausing, professore presso il MIT (Massachusetts Institute of Technology), il quale sviluppò alcuni progetti presso la Ford Motor Co. utilizzando e sviluppando questa metodologia. Infine il QFD fece la sua comparsa anche in Europa ma solo alla fine degli anni '80.



Fig.5 Yoji Akao



Fig.6 Shigeru Mizuno



Fig.7 Don Clausing

Il QFD può essere definito come uno strumento di pianificazione da utilizzare nei diversi stadi di sviluppo di un prodotto. Con il QFD le aziende possono focalizzare l'attenzione sulla qualità non tanto del processo produttivo quanto del processo progettuale e quindi del prodotto finale.

La Qualità è una grandezza multidimensionale e coinvolge tutte le caratteristiche di un prodotto, ad esempio:

- le prestazioni
- la sicurezza
- l'affidabilità
- la conformità alle specifiche
- la durata
- l'assistenza post-vendita
- l'ergonomia
- la manutenibilità
- l'economicità d'uso
- l'estetica
- l'impatto ambientale
- etc.

Il QFD è una metodologia che si sviluppa per passi successivi. Il primo step di tale metodologia consiste nel definire quelli che sono gli obiettivi di progetto alla luce delle esigenze e dei bisogni (reali o indotti) del cliente. E' necessario quindi eseguire, già nei primi passi del processo progettuale, un'indagine particolareggiata sul prodotto, sull'ambiente di utilizzo e sui suoi possibili utilizzatori, al fine di prendere in considerazione tutta quella serie di dati che effettivamente hanno un peso rilevante nel progetto.

L'approccio alla progettazione suggerito dal QFD si basa sulle seguenti considerazioni:

- 1) Il cliente è la priorità aziendale quindi è fondamentale capire ciò che il cliente desidera.
- 2) L'azienda deve suggerire al cliente in che modo soddisfare le proprie necessità e i propri desideri.

- 3) Tutto il personale dell'azienda, dalla progettazione sino alla produzione e commercializzazione, deve interiorizzare le esigenze del cliente e deve assumersi la responsabilità di creare un prodotto in grado di soddisfare il cliente stesso.
- 4) In azienda deve esistere una metodologia in grado di aiutare tutto il personale aziendale a lavorare insieme e a perseguire gli obiettivi comuni di soddisfazione dei desideri del cliente.

In pratica il QFD punta a:

- trasformare le richieste esterne del cliente in richieste interne dell'azienda
- migliorare la comunicazione e il flusso di informazioni tra le diverse aree aziendali
- definire obiettivi di performance e parametri di efficienza
- definire obiettivi di riduzione dei costi
- confrontarsi con la concorrenza

Alla luce dell'importanza che hanno assunto i bisogni e le esigenze del cliente nell'ottica della qualità, risulta molto importante migliorare la comunicazione e il flusso delle informazioni tra le diverse aree aziendali, in quanto le esigenze del cliente passano lungo il così detto “cerchio delle comunicazioni aziendali” (cioè l'insieme delle comunicazioni e delle relazioni tra le varie aree aziendali) e ritornano al cliente, dal quale erano partite, nella forma di un nuovo prodotto (vedi Fig.8).

Spesso, tuttavia, in questa specie di “passaparola aziendale”, capita che le esigenze del cliente non vengano tradotte in modo adeguato nel passaggio da una funzione aziendale all'altra e accade che il “messaggio” che ritorna al cliente, sotto forma di prodotto o servizio che dovrebbe soddisfare le sue richieste, non sia in linea con quello che è partito da lui. Il QFD si pone come obiettivo proprio quello di evitare che ciò accada.

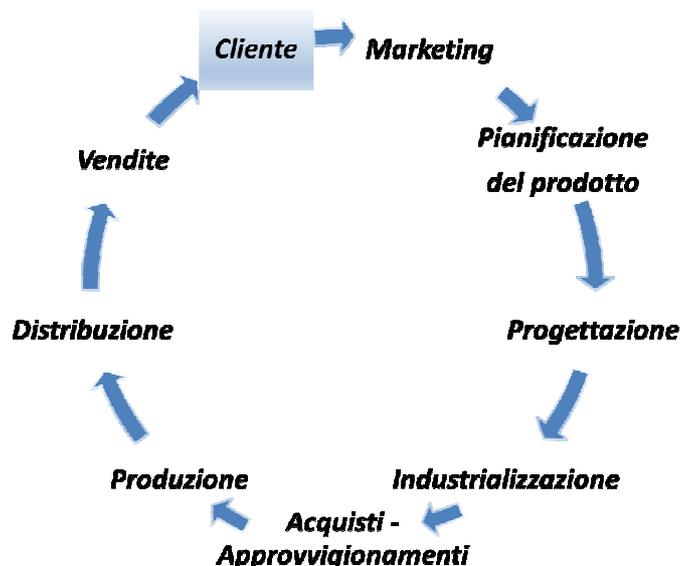


Fig.8 “Cerchio delle comunicazioni aziendali”

## 2.1 Le Fasi della Metodologia QFD

La prima fase della Metodologia QFD è quella della raccolta, della selezione e dell'analisi dei dati necessari per definire il "compito progettuale" il più completamente e chiaramente possibile, tenendo conto non solo delle esigenze del cliente ma anche di quelle dei vari reparti dell'azienda coinvolti. Una "buona analisi" iniziale farà in modo che le correzioni al progetto nelle fasi successive siano il più limitate possibile, con notevoli benefici dal punto di vista dei costi e dei tempi di immissione sul mercato del prodotto. In questa fase ci si avvale non solo delle conoscenze relative al mercato di riferimento (ufficio marketing, ufficio post vendita, clienti finali, etc.) ma anche di quelle che derivano dall'analisi della concorrenza. Inoltre brevetti, letteratura tecnica, letteratura scientifica e conoscenze di tipo psicologico sono altre "fonti" di conoscenza da non sottovalutare nella raccolta dei dati necessari per svolgere al meglio questa fase iniziale della progettazione che prende il nome di **Chiarificazione del Compito**.

Poiché la Metodologia QFD è una metodologia di tipo induttivo, essa si basa su una serie di domande effettuate dal progettista e relative al prodotto o servizio che si desidera realizzare; le risposte a tali domande possono essere fornite dai clienti, dagli esperti di marketing e del prodotto o dal progettista stesso.

In pratica nella fase iniziale del metodo ci si deve chiedere:

- Quale è il vero compito progettuale?
- Quali proprietà il prodotto o il servizio deve possedere?
- Quali proprietà non deve possedere?

Il QFD permette non solo di raccogliere e selezionare i dati relativi a tutti gli aspetti più importanti del progetto ma fornisce ai progettisti gli strumenti necessari per ordinare e confrontare tali dati assieme a tutta una serie di altre informazioni che altrimenti rischierebbero di essere trascurate durante la progettazione. E' per questo che il metodo prevede anche la costruzione ed il confronto di una **serie di matrici** e di **tabelle** che fungono da guida durante il processo progettuale, permettendo di valutare, sulla base della loro importanza effettiva, le caratteristiche tecniche del prodotto o del processo oggetto di sviluppo in modo che possano essere confrontate tra loro ed eventualmente anche con quelle proposte dalla concorrenza.

Si giunge così ad ottenere la **Specificata Tecnica** del prodotto, cioè la raccolta di tutte le caratteristiche tecniche e di tutti i parametri sia qualitativi che quantitativi che un prodotto o un servizio deve possedere.

Dopo aver individuato le caratteristiche tecniche più rilevanti per il progetto, riassunte appunto nella specifica tecnica, è possibile passare al **Progetto Concettuale**, noto anche con il nome di Avan-Progetto. In questa fase risulta possibile sviluppare delle **Soluzioni Concettuali** vicine a quelle che sono le esigenze e le richieste del cliente, cioè delle soluzioni basate su principi del tutto generali e in grado di soddisfare i requisiti della specifica tecnica ma che non hanno ancora assunto una forma concreta di realizzazione. Dopo un'ulteriore analisi e confronto delle soluzioni concettuali è quindi possibile selezionare la soluzione concettuale più idonea che sarà la base di partenza del **Progetto Costruttivo** vero e proprio, con lo sviluppo di architetture preliminari e progetti di forma, la selezione delle migliori architetture preliminari, gli affinamenti e le opportune valutazioni secondo criteri sia tecnici che economici.

In fig. 9 è riassunto tutto il percorso Progettuale appena illustrato:

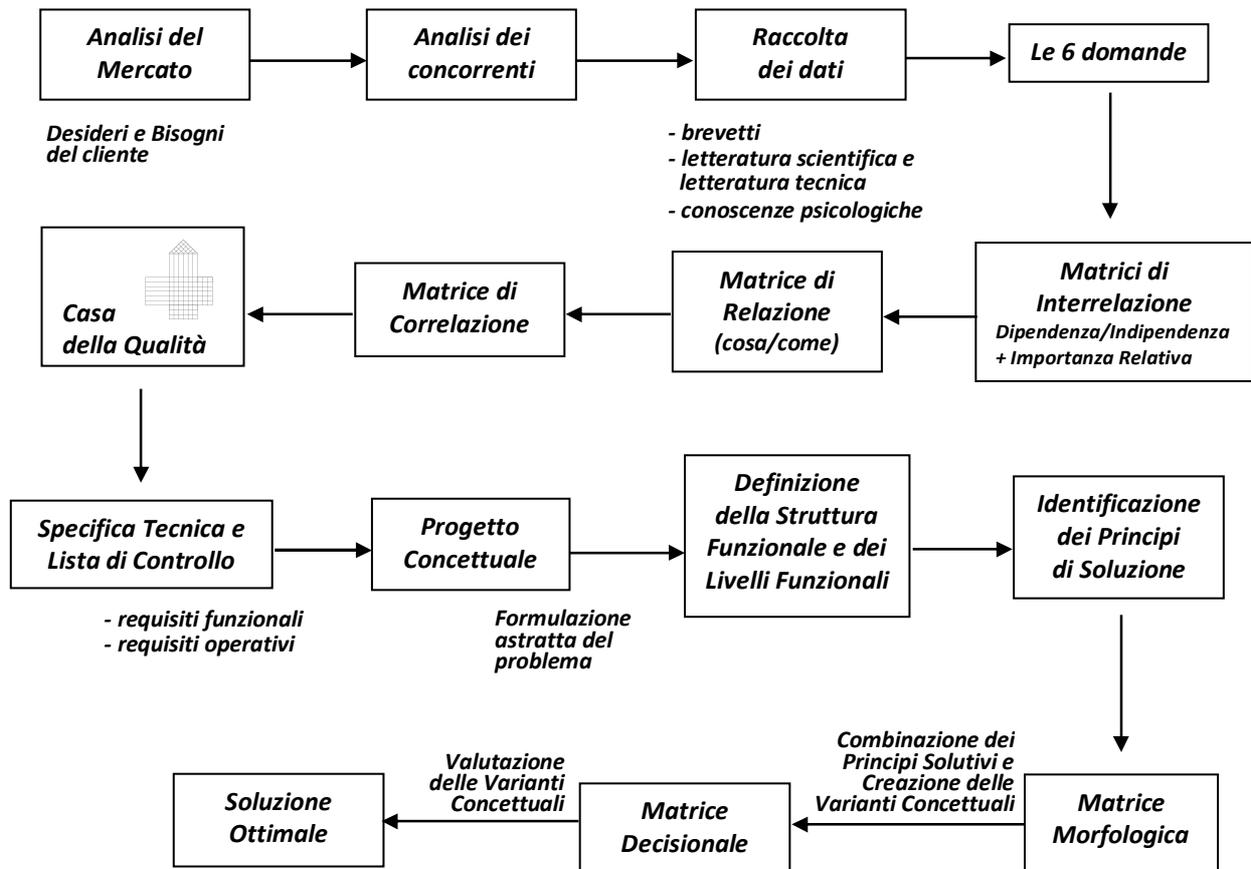


Fig.9 Processi relativi alla metodologia QFD

Approfondiremo nei paragrafi successivi le diverse fasi del processo progettuale e i diversi strumenti del QFD.

## 2.2 Gli strumenti del QFD: le sei domande

Una volta eseguita l'analisi del mercato e della concorrenza, nonché tutta la raccolta dei dati necessari per individuare quelle che sono le reali esigenze e richieste del cliente, si procede con le sei domande del QFD; attraverso di esse è possibile individuare le caratteristiche di base che un prodotto o un servizio deve possedere. Tali domande possono essere poste dal progettista ad un esperto di marketing, ad un addetto della post-vendita o del servizio clienti, ad un campione della clientela, ma se il progettista è un esperto del settore potrebbe rispondere ad esse lui stesso.

Le sei domande sono le seguenti:

1. Chi?: cioè chi usa o userà il prodotto?
2. Cosa?: cioè cosa deve fare quel prodotto? Qual è la sua funzione? Quali sono i suoi impieghi?

3. Dove?: cioè dove viene utilizzato il prodotto? Quali sono le condizioni ambientali in cui sarà utilizzato?
4. Quando?: cioè quando viene usato il prodotto? Per quante volte o per quante ore al giorno? Il suo utilizzo è continuo oppure ad intervalli?
5. Perché?: cioè perché viene utilizzato il prodotto? Perché viene scelto quel prodotto? Quali risultati deve ottenere?
6. Come?: cioè come viene utilizzato il prodotto? Come interagirà con il suo utilizzatore?

Ottenendo una risposta a ciascuna di queste sei domande il progettista potrà, fin dall'inizio del processo progettuale, avere una idea chiara dei requisiti principali che il prodotto dovrà avere e inquadrare con precisione l'ambito di utilizzo del prodotto stesso.

### 2.3 Gli strumenti del QFD: le Matrici di Interrelazione

Individuati i requisiti principali che il prodotto dovrà avere, questi possono essere confrontati tra loro attraverso le **Matrici di Interrelazione**, sia da un punto di vista di relazione “causa – effetto” ovvero di dipendenza e indipendenza (ottenendo la **Matrice di Dipendenza/Indipendenza**, vedi esempio fig.10), sia da un punto di vista di importanza relativa (ottenendo la **Matrice di Importanza Relativa**, vedi esempio fig.11)

MATRICE di DIPENDENZA/INDIPENDENZA	Prezzo	Prestazioni	Comfort	Consumi	Capacità di carico	Estetica / Design	Accessori	Totale (Dipendenza)
Prezzo		9	9	3	3	3	9	36
Prestazioni	9		1	3	1	1	0	15
Comfort	3	3		0	9	1	3	19
Consumi	1	9	1		1	1	0	13
Capacità di carico	0	3	3	0		0	0	6
Estetica / Design	1	0	0	0	1		1	3
Accessori	1	0	3	0	0	1		5
Totale(Indipendenza)	15	24	17	6	15	7	13	97

Fig. 10 – Matrice di Dipendenza/Indipendenza

MATRICE di IMPORTANZA RELATIVA	Prezzo	Prestazioni	Comfort	Consumi	Capacità di carico	Estetica / Design	Accessori	Totale (Importanza Relativa)	Importanza Relativa Normalizzata
Prezzo	1	0	0	1	1	1	1	5	4,5
Prestazioni	2	1	1	1	2	1	1	9	8,2
Comfort	2	1	1	1	2	0	1	8	7,3
Consumi	1	1	1	1	2	0	1	7	6,4
Capacità di carico	1	0	0	0	1	0	0	2	1,8
Estetica / Design	1	1	2	2	2	1	2	11	10
Accessori	1	1	1	1	2	0	1	7	5,5

Fig.11 – Matrice di Importanza Relativa

### 2.3.1 Costruzione delle Matrici di Interrelazione

Per costruire la **Matrice di Dipendenza/Indipendenza** si riportano nelle righe e nelle colonne di una matrice i requisiti principali che il prodotto dovrà avere e che sono stati individuati attraverso le sei domande del QFD. Si determinano quindi le relazioni di causa ed effetto tra i vari requisiti, ovvero le relazioni di dipendenza e indipendenza, considerando come ingresso ciascun elemento di colonna (CAUSA) e come uscita l'elemento corrispondente della riga (EFFETTO), vedi fig.12:

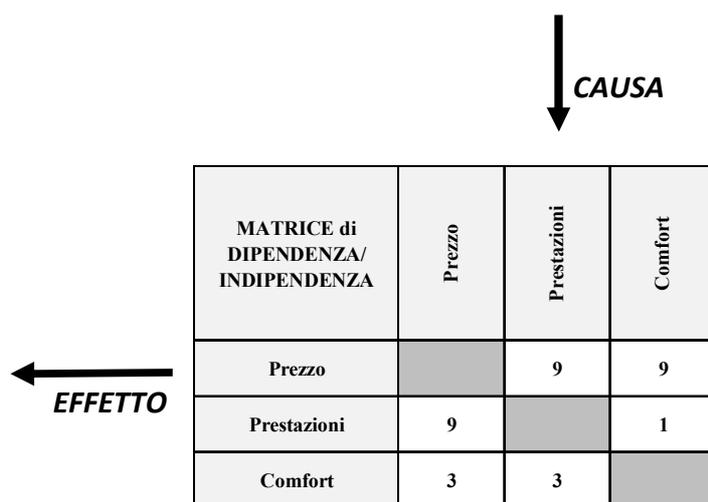


Fig. 12 Relazione causa – effetto (dipendenza – indipendenza)

In pratica ci si chiede: l'elemento sulla riga quanto dipende dall'elemento sulla colonna?  
In seguito si stimano tali relazioni attraverso una **scala di valori** pari a 0, 1, 3 e 9.

In particolare si attribuisce il valore:  
 0 se la dipendenza fra i requisiti è nulla  
 1 se la dipendenza fra i requisiti è debole  
 3 se la dipendenza fra i requisiti è media  
 9 se la dipendenza fra i requisiti è forte

Chiaramente sulla diagonale della matrice non sarà riportato alcun valore, in quanto lì sarebbe rappresentata la dipendenza di ciascun parametro relativamente a sé stesso.

Sommando i valori di ogni riga otterremo che il requisito più dipendente è quello con il punteggio più alto, ed è quello più influenzato dalle altre voci (vedi fig.13):

Totale (Dipendenza)	
36	← <i>Requisito più dipendente</i>
15	
19	
13	
6	
3	
5	
97	

Fig. 13 Requisito più dipendente

Sommando i valori di ogni colonna otterremo che il requisito più indipendente è quello con il punteggio più alto ed è quello meno influenzato dalle altre voci (vedi fig.14):

Totale(Indipendenza)	15	24	17	6	15	7	13	97
		↑ <i>Requisito più indipendente</i>						

Fig. 14 Requisito più indipendente

La conoscenza dei requisiti più “indipendenti” dagli altri, indicherà al progettista su quali requisiti puntare per ottenere il maggior numero di benefici e di miglioramenti progettuali.

La progettazione non deve considerare solo le “caratteristiche tecniche” più indipendenti bensì anche quelle più importanti, ecco perché viene costruita anche la **Matrice di Importanza Relativa**.

Per costruire la **Matrice di Importanza Relativa** si procede come nel caso precedente riportando nelle righe e nelle colonne di una matrice i requisiti principali che il prodotto dovrà avere e che sono stati individuati attraverso le 6 domande del QFD. Si determina quindi l'importanza relativa (il peso relativo) di ciascun requisito, l'uno rispetto all'altro, e in base ad essa si attribuiscono i **valori 0, 1, e 2**.

In particolare si attribuisce il valore:

- 1 se l'elemento di riga ha la stessa importanza dell'elemento in colonna
- 0 se l'elemento di riga ha importanza minore dell'elemento in colonna
- 2 se l'elemento di riga ha importanza maggiore dell'elemento in colonna.

Eseguendo le somme di tutte le righe si ottiene la colonna "Totale" nella quale si individua il requisito avente importanza maggiore (vedi Fig.15). Si attribuisce il valore 10 alla caratteristica più importante ed in base al rapporto risultante tra il valore 10 e quello ottenuto dalla somma dei punteggi per la caratteristica più importante si ottengono poi i valori normalizzati di tutte le altre caratteristiche

Totale	Importanza Relativa Normalizzata
5	4,5
9	8,2
8	7,3
7	6,4
2	1,8
11	10
7	5,5

*Requisito più importante* →

*Pesi relativi* ↑      ↑ *Pesi relativi normalizzati*

Fig. 15 Requisito più importante, pesi relativi e valori normalizzati dei pesi relativi

Confrontando i valori normalizzati delle caratteristiche del prodotto con il valore normalizzato del requisito più importante possiamo ottenere quelle che sono le caratteristiche più importanti su cui focalizzare lo sviluppo del nuovo prodotto o del nuovo servizio.

In definitiva, le **caratteristiche più indipendenti** e quelle con **importanza relativa più alta**, saranno le caratteristiche tecniche su cui puntare per lo sviluppo di un nuovo prodotto o servizio.

## 2.4 Gli strumenti del QFD: la Matrice di Relazione (Matrice dei Cosa/Come)

Attraverso l'analisi portata avanti per mezzo delle matrici di interrelazione, è possibile stabilire quali siano i requisiti tecnici che devono essere sviluppati nel prodotto da progettare. E' necessario però comprendere anche quali siano le azioni tecniche da intraprendere per raggiungere tali obiettivi. Per questo scopo è utile l'utilizzo di un'altra matrice, la **Matrice di Relazione** (vedi esempio fig. 16), un ulteriore strumento dell'analisi QFD, attraverso la quale i bisogni del sistema, chiamati i "cosa" (cosa soddisfare), che altro non sono che le caratteristiche tecniche individuate con le sei domande, vengono confrontati con le azioni tecniche da attuare per soddisfarli, chiamate i "come" (come soddisfarle).

↓ **COSA**

MATRICE di RELAZIONE ovvero MATRICE dei COSA / COME	Lunghezza [mm]	Larghezza [mm]	Altezza [mm]	Peso [Kg]	Capacità bagagliaio [dm3]	Serbatoio [l]	Cilindrata [cm3]	Potenza [KW]	Velocità max. [Km/h]	Coppia max. [N/m]	Prezzo [€]	Consumo medio [l/100 Km]	Emissioni CO2 [g/Km]	Autonomia [Km]
Prezzo	0	0	0	1	0	0	9	9	3	9	9	1	0	0
Prestazioni	0	0	0	3	0	3	3	9	9	9	9	3	9	3
Comfort	9	9	9	1	3	0	0	0	0	0	3	0	0	1
Consumi	0	0	0	9	0	3	9	3	1	1	1	0	9	9
Estetica / Design	1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Accessori	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>34</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>13</b>

↑ **Importanza  
Tecnica**

← **COME**

Fig. 16 Matrice di Relazione (Matrice dei Cosa/Come)

### 2.4.1 Costruzione della Matrice di Relazione (Matrice dei Cosa/Come)

Per costruire la Matrice di Relazione (Matrice dei Cosa/Come) si riportano nelle righe i COSA ovvero i requisiti tecnici individuati con le sei domande e nelle colonne i COME cioè le azioni da porre in atto per soddisfare tali requisiti. I requisiti tecnici individuati con le sei domande non vengono riportati tutti quanti, ma solamente quelli che hanno superato un certo livello soglia minimo rispetto al valore di riferimento, cioè quello più alto. Il valore di riferimento normalizzato è

sempre pari a 10, se si assume ad esempio come livello di soglia minimo il valore 7, allora saranno presi in considerazione solamente quei requisiti tecnici che superano tale livello di soglia.

In seguito si valuta ogni di relazione esistente tra i requisiti tecnici e le azioni da porre in atto attribuendo i valori 0, 1, 3, 9 a seconda del tipo di relazione.

In particolare si attribuisce il valore:

0 = se la relazione tra requisito tecnico e azione da porre in atto è nulla

1 = se la relazione tra requisito tecnico e azione da porre in atto è debole

3 = se la relazione tra requisito tecnico e azione da porre in atto è media

9 = se la relazione tra requisito tecnico e azione da porre in atto è forte

La somma di ogni colonna della Matrice di Relazione (Matrice dei Cosa/Come) ci indica quella che viene definita l' **Importanza Tecnica** di quell'azione all'interno del processo progettuale; chiaramente maggiore sarà il punteggio raggiunto e maggiore sarà la sua importanza tecnica. Non dobbiamo dimenticare che le caratteristiche tecniche ottenute dalle sei domande sono state filtrate attraverso la Matrice di Importanza Relativa e ad esse è stato attribuito un peso relativo normalizzato, sarebbe quindi opportuno che il valore dell' Importanza Tecnica ottenuto per ciascuna azione da porre in atto per soddisfare il requisito tecnico considerasse tale peso; in pratica invece di affidarci alla semplice somma dei valori da 0 a 9 dobbiamo considerare una somma pesata, in cui cioè **moltiplichiamo** il **grado di relazione** tra il requisito tecnico e l'azione da porre in atto (0, 1, 3, 9) per l'**importanza relativa normalizzata** del requisito tecnico (vedi fig.17).

MATRICE di RELAZIONE - MATRICE dei COSA / COME	Importanza Normalizzata	Lunghezza [mm]		Larghezza [mm]		Altezza [mm]		Peso [Kg]		Capacità bagagliaio [dm3]		Serbatoio [l]		Cilindrata [cm3]		Potenza [KW]		Velocità max. [Km/h]		Coppia max. [N/m]		Prezzo [€]		Consumo medio [l/100 Km]		Emissioni CO2 [g/Km]		Autonomia [Km]		
Prezzo	4,5	0	0	0	0	0	0	0	1	4,5	0	0	0	0	9	40,5	9	40,5	3	13,5	9	40,5	9	40,5	1	4,5	0	0	0	0
Prestazioni	8,2	0	0	0	0	0	0	3	24,6	0	0	3	24,6	3	24,6	9	73,8	9	73,8	9	73,8	9	73,8	3	24,6	9	73,8	3	24,6	
Comfort	7,3	9	65,7	9	65,7	9	65,7	1	7,3	3	21,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21,9	0	0	0	0	1	7,3
Consumi	6,4	0	0	0	0	0	0	9	57,6	0	0	3	19,2	9	57,6	3	19,2	1	6,4	1	6,4	1	6,4	0	0	9	57,6	9	57,6	
Estetica/Design	10	1	10	1	10	1	10	1	10	3	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	30	0	0	0	0	0	0
Accessori	5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	49,5	0	0	0	0	0	0
Totale		10	76	10	76	10	76	15	104	6	52	6	44	21	123	21	134	13	94	19	121	34	222	4	29	18	131	13	90	

Fig. 17 Matrice di Relazione (Matrice dei Cosa/Come) con Importanza Tecnica Pesata

Nella Matrice di Relazione di fig. 17 si preferisce utilizzare l'Importanza Tecnica Pesata delle caratteristiche tecniche in quanto essa considera anche il "peso normalizzato" della caratteristica e non solo la relazione tra requisito tecnico e azione da porre in atto.

Attraverso questa analisi risulta quindi possibile conoscere sia le caratteristiche tecniche più importanti da sviluppare durante il progetto, sia il tipo di azioni da porre in atto per svilupparle e l'importanza che esse hanno; tutto questo comporta un netto miglioramento della qualità di progettazione e un netto miglioramento dei costi di sviluppo di prodotti o servizi.

## 2.5 Analisi QFD: i bisogni del cliente – il Modello di Kano

L'analisi QFD permette al progettista di prendere in considerazione le richieste, le esigenze, i desideri e i bisogni del cliente relativamente a un prodotto o a un servizio che si desidera sviluppare. La notevole crescita delle conoscenze psicologiche degli ultimi anni ha portato le aziende a comprendere che il valore di un prodotto immesso sul mercato è determinato non solo da parametri tecnici oggettivi espressi esplicitamente dal cliente, ma anche da parametri legati maggiormente ai bisogni impliciti o latenti del cliente e che hanno un notevole peso nel determinare l'importanza e il livello di valore "percepito" dal cliente stesso.

Tra le varie tecniche utilizzate per determinare la soddisfazione del cliente attraverso le caratteristiche percepite del prodotto, è utile ricordare quella di Noriaki Kano, riassunta nel **Modello di Kano** illustrato in fig.18:

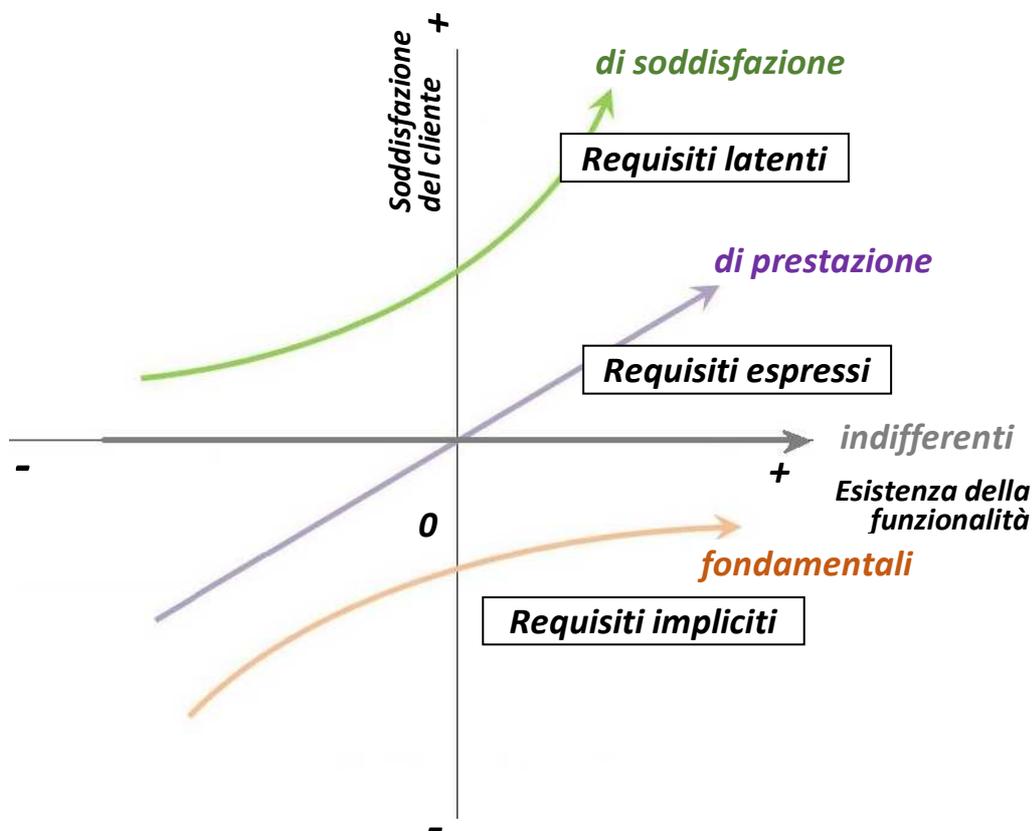


Fig. 18 Modello di Kano

Il modello di Kano è uno strumento molto utile per determinare quelle che devono essere le priorità nello sviluppo di un prodotto o di un servizio, in base a quella che risulta essere la percezione di qualità del prodotto stesso da parte del cliente. Il modello di Kano si basa sull'ipotesi che esistano quattro tipi di attributi che possano descrivere l'esperienza che un cliente ha di un prodotto nel momento in cui viene ad interagire con esso. Questi attributi sono:

- **basic = fondamentali**
- **indifferent = indifferenti**
- **performance = di prestazione**
- **delight = di soddisfazione**

I quattro tipi di attributi sono mappati in un sistema di coordinate con "Characteristics" (esistenza della funzionalità) lungo l'asse x e con "Satisfaction" (soddisfazione del cliente) sull'asse y. Consideriamo le singole voci relative agli attributi.

#### Attributi fondamentali (basic)

Gli attributi fondamentali, come ad esempio potrebbero essere la macchina fotografica incorporata nello smart phone o la chiusura centralizzata delle portiere nell'automobile, sono le caratteristiche di prodotto che il cliente dà per scontato, che si aspetta pienamente operanti e di cui si "accorge" solo se sono assenti o risultano limitate rispetto alle sue aspettative. Con gli attributi fondamentali non esiste una relazione diretta tra l'esistenza della funzionalità e la soddisfazione del cliente, per cui la loro presenza non attribuisce al cliente una particolare soddisfazione e per questo non andrebbero considerati come un eventuale vantaggio competitivo. Al contrario la loro assenza apporta notevole insoddisfazione per il cliente, per cui dovrebbero sempre essere presenti nel prodotto o servizio per non creare un grave svantaggio competitivo.

#### Attributi indifferenti (indifferent)

Sono gli attributi che non rappresentano alcuna aspettativa per il cliente e che quindi non portano ad alcun vantaggio competitivo del prodotto.

#### Attributi di prestazione (performance)

Gli attributi di prestazione, come potrebbero essere il consumo di carburante per un'automobile o la velocità di download per una connessione internet, presentano una relazione di proporzionalità tra l'esistenza della funzionalità e il grado di soddisfazione del cliente; è per questo vengono anche chiamati attributi lineari. Le aziende tendono a puntare proprio su questi attributi per poter vincere nella competizione con i propri concorrenti, i quali, per vincere, dovranno riuscire ad offrire gli stessi attributi di performance ma con grado maggiore oppure dovranno offrire degli altri attributi altrettanto o maggiormente soddisfacenti.

#### Attributi di soddisfazione (delight)

Gli attributi di soddisfazione, come la presenza di accessori non richiesti dal cliente in un'automobile o la presenza di software aggiuntivo nell'ultima release del sistema operativo del proprio smartphone, hanno come obiettivo quello di meravigliare favorevolmente il cliente con elementi di netta distinzione dalla concorrenza. Per queste caratteristiche non esiste una relazione lineare tra l'esistenza della funzionalità e la soddisfazione del cliente, per cui quando un attributo di

questo tipo manca, l'esperienza del cliente non viene influenzata negativamente ma, se viene realizzata la sua presenza, essa porta notevoli ritorni economici e di immagine. Con il tempo il cliente tende ad abituarsi alle nuove caratteristiche del prodotto e ad aumentare le proprie aspettative, il che significa che quello che oggi è un attributo di soddisfazione che attrae nuovi clienti, dopo un certo periodo di tempo potrebbe "degradare" in un attributo di prestazione, in particolare nel momento in cui la concorrenza inizia a fornire la stessa funzionalità; è quello il momento in cui introdurre nuovi attributi di soddisfazione del prodotto. Il miglioramento di quella caratteristica potrebbe diventare, con il passare del tempo, così poco rilevante da un punto di vista della soddisfazione del cliente che la sua importanza potrebbe rivelarsi solo nel momento in cui il cliente si accorge della sua assenza o della sua limitazione; siamo così giunti al momento in cui la caratteristica si è ulteriormente degradata a livello di caratteristica fondamentale.

Il modello di Kano risulta molto utile per capire quale dinamica seguire durante lo sviluppo di un prodotto, infatti non è importante competere con i concorrenti su tutte le caratteristiche di prestazione ma solamente su quelle prioritarie. Il modello di Kano guida quindi il progettista ad individuare il livello minimo di funzionalità che il prodotto deve avere, gli attributi attesi dal cliente e le eventuali implementazioni di caratteristiche da effettuare nelle release successive del prodotto.

Gli attributi che soddisfano maggiormente il cliente non si trovano osservando i prodotti dei concorrenti, ma cercando di comprendere sempre di più i gusti, le esigenze e i bisogni del cliente stesso e questo processo deve essere fatto continuamente nel tempo in quanto la percezione delle caratteristiche da parte del cliente e quindi il suo grado di soddisfazione ottenuto da esse varia notevolmente nel tempo.

## 2.6 Gli strumenti del QFD: la Casa della Qualità

Il processo logico che sta alla base dello sviluppo di un prodotto attraverso la metodologia QFD può essere riassunto attraverso una tabella di analisi chiamata Casa della Qualità e il cui nome è dovuto proprio al particolare tipo di configurazione con cui si presenta. La struttura della casa della qualità è schematizzata nella fig. 19 dove individuiamo sette diverse aree, o matrici, che la compongono .

**Area A:** in questa area si riportano le **richieste**, le **esigenze**, i **desideri** e i **bisogni** del cliente relativi al prodotto o al servizio che si desidera progettare. Essi saranno sia quelli espressi esplicitamente dal cliente, sia quelli latenti o impliciti. La creazione di questa tabella viene eseguita attraverso questionari o focus group e il suo risultato sarà una serie di requisiti e attributi. Inizialmente i dati raccolti potranno essere poco precisi, per cui richiederanno degli step successivi di affinamento per andare ulteriormente nel dettaglio.

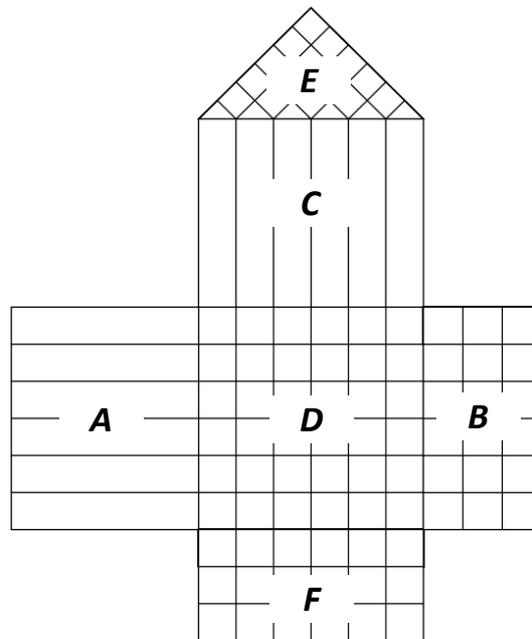


Fig. 19 Casa della Qualità

**Area B:** in questa area si riporta l'**importanza** e il **peso** delle richieste, delle esigenze, dei desideri e dei bisogni del cliente. In pratica si assegna a ciascuna richiesta del cliente un punteggio basato sulla priorità del bisogno da soddisfare e lo si attribuisce usando generalmente delle scale Likert. La valutazione di questi dati viene effettuata attraverso alcuni criteri quali:

- L'importanza che ciascun bisogno del cliente riveste all'interno del prodotto o del servizio che si desidera progettare.
- L'esistenza di eventuali dati storici di difetti, guasti, lamentele messi in evidenza da parte del cliente e di cui tener conto eventualmente come punti di "qualità negativa".
- Il confronto dei dati che si hanno a disposizione relativi alla concorrenza.

**Area C:** in questa area si riportano le **caratteristiche del prodotto**, cioè l'insieme dei requisiti tecnici che possono rendere il prodotto (o il servizio) finale corrispondente alle richieste, alle esigenze, ai desideri e ai bisogni iniziali del cliente. In pratica si tratta di tradurre ciò che è stato espresso da un punto di vista qualitativo nell'area A in caratteristiche tecniche di prodotto che possono quindi essere misurate anche da un punto di vista quantitativo. Si dovrebbe identificare almeno una caratteristica tecnica per ogni richiesta del cliente.

**Area D:** in questa area viene riportata la **Matrice di Relazione**, cioè la **Matrice dei Cosa/Come**. È l'area che evidenzia le relazioni tra ciascuna richiesta, esigenza, desiderio e bisogno del cliente e ciascuna azione o caratteristica tecnica atta a soddisfarla. Per migliorare la lettura della matrice all'interno della casa della qualità si possono ordinare le caratteristiche per valori decrescenti, in modo da individuare caratteristiche che incidono maggiormente sulle fonti principali di soddisfazione del cliente. Per la sua costruzione si rimanda la par.2.4 precedentemente trattato.

**Area E:** in questa area vengono riportate le **relazioni tra le caratteristiche tecniche del prodotto** ottenute dalle precedenti analisi. Dato che le caratteristiche tecniche possono ostacolarsi o suppor-

tarsi a vicenda, è necessario valutare le loro varie correlazioni, quindi esse devono essere confrontate per verificare quali interagiscono tra di loro e in particolar modo se interagiscono positivamente (+) o negativamente (-). La matrice risultante viene chiamata **Matrice di Correlazione** e ne è riportato un esempio in fig.20. Nelle celle della Matrice di Correlazione possono essere inseriti dei simboli, con dei numeri o dei segni per indicare il tipo di relazione tra le caratteristiche tecniche incrociate (relazione di tipo positivo, negativo o neutro) ed anche la loro intensità; ad esempio è possibile lasciare la casella vuota nel caso in cui la relazione si manifesti di tipo neutro e debole, oppure inserire i seguenti simboli nel caso in cui la relazione sia positiva o negativa:

- + = relazione positiva
- ⊕ = relazione molto positiva
- = relazione negativa
- ⊖ = relazione molto negativa

L'esistenza di relazioni negative deve essere evidenziata e considerata con attenzione; la Casa della Qualità ha proprio il compito di mostrare quali sono gli elementi di conflittualità all'interno delle caratteristiche tecniche per non lasciarli irrisolti durante il processo progettuale. Si evidenziano così le caratteristiche tecniche che richiedono maggiore sforzo tecnico per minimizzare le influenze tecniche negative.

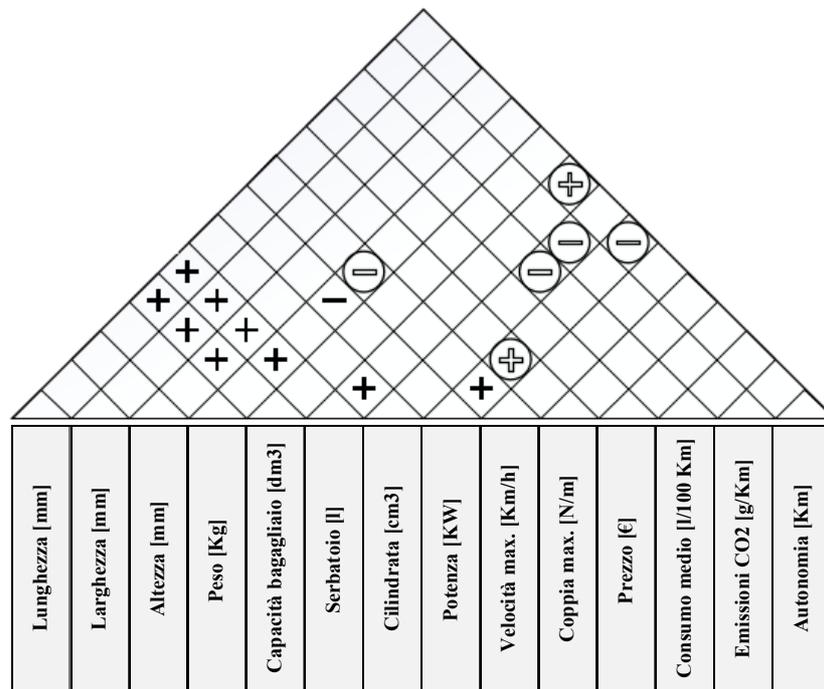


Fig. 20 Matrice di Correlazione

**Area F:** in questa area vengono riportate le **caratteristiche tecniche** che possono “attribuire qualità” al prodotto; in base alla loro **importanza** esse vengono valorizzate attraverso dei numeri. I valori assegnati devono rispecchiare la capacità di queste caratteristiche di soddisfare le richieste, le esigenze, i desideri e i bisogni del cliente. In questa valutazione è importante anche confrontarsi con la concorrenza o con i prodotti precedentemente realizzati dalla stessa azienda eseguendo una sorta di benchmarking delle prestazioni.

In conclusione, con la Casa della Qualità abbiamo la possibilità, attraverso un approccio di tipo grafico, di accedere ad una tabella riassuntiva di tutti i dati raccolti durante le analisi fatte nelle fasi precedenti, avendo anche la possibilità di osservare in un quadro di insieme le relazioni, i valori e le criticità dei dati stessi.

## 2.7 La Specifica Tecnica e la Lista di Controllo

L'insieme dei passi successivi seguiti dalla metodologia QFD porta il progettista alla stesura di quella che viene definita la **Specifica Tecnica**, ovvero l'elenco delle caratteristiche e dei requisiti che il prodotto (o il processo) dovrà possedere al termine della sua realizzazione. Tali requisiti potranno essere di tipo funzionale, cioè relativi all'insieme di tutte le funzioni che il sistema deve essere in grado di compiere, oppure potranno essere di tipo operativo, cioè relativi all'insieme delle condizioni operative in cui il sistema dovrà operare. Se il processo di analisi QFD non fosse condotto correttamente, ciò comprometterebbe l'intero processo progettuale oppure potrebbe portare alla necessità di correzioni progettuali in una fase molto avanzata, con conseguente innalzamento dei costi fino a soglie che potrebbero essere proibitive da un punto di vista economico.

E' utile perciò, alla fine del processo QFD, passare all'esame di quella che viene chiamata **Lista di Controllo**; essa consiste in una serie di requisiti standard, comuni a qualunque progetto di tipo industriale, che devono essere confrontati con i risultati dell'analisi QFD (per intenderci, quelli rappresentati sinteticamente in maniera grafica attraverso la Casa della Qualità) per verificarne la possibilità realizzativa. In fig.21 abbiamo un esempio di una possibile lista di controllo:

1	<b>Geometria</b>	<b>Dimensioni e quote fondamentali</b>
2	<b>Cinematica</b>	<b>Tipo di moto - direzione - velocità - accelerazione</b>
3	<b>Forze</b>	<b>Tipo di forza - direzione - grandezza - frequenza - forze di inerzia</b>
4	<b>Energia</b>	<b>Tipo di Energia - Potenza - Pressione - Temperatura - Perdite</b>
5	<b>Materiale</b>	<b>Flusso di Materiale in ingresso e in uscita - Proprietà fisiche e chimiche del materiale</b>
6	<b>Informazione</b>	<b>Flusso di Informazioni in ingresso e in uscita - Segnali - Sistemi di controllo - Sensori</b>
7	<b>Sicurezza e Affidabilità</b>	<b>Sistemi di sicurezza e di protezione diretta dell'utilizzatore e dell'ambiente circostante</b>
8	<b>Ergonomia</b>	<b>Relazione uomo - macchina soddisfacente</b>
9	<b>Design</b>	<b>Aspetto estetico - forme - superfici - colori</b>
10	<b>Funzionalità</b>	<b>Attitudine a rispondere ad esigenze specifiche</b>
11	<b>Producibilità</b>	<b>Materiali e Dimensioni massime lavorabili - Mezzi e Tecnologie produttive - Tolleranze di lavorazione - N°componenti ridotto - Complessità bassa</b>
12	<b>Controllabilità e Qualità</b>	<b>Possibilità di misure e controlli semplici e affidabili - Applicazione di norme sulla qualità</b>
13	<b>Montaggio /Assemblabilità</b>	<b>Possibilità di montaggi semplici e rapidi senza attrezzature e prescrizioni particolari</b>
14	<b>Trasportabilità</b>	<b>Limiti della trasportabilità - Mezzi di trasporto necessari - Rischi</b>
15	<b>Condizioni di Servizio</b>	<b>Rumorosità o Silenziosità - Vibrazioni - Impiego in ambienti speciali</b>
16	<b>Manutenibilità</b>	<b>Piani di manutenzione ampi - Facilità di Riparazione e di reperimento delle Parti di ricambio</b>
17	<b>Costi</b>	<b>Costi ammissibili</b>
18	<b>Tempi</b>	<b>Time to Market breve- Pianificazione dei tempi per i processi progettuali e produttivi</b>
19	<b>Riciclabilità</b>	<b>Possibilità di riciclaggio parziale o totale</b>

Fig. 21 Lista di Controllo

Una volta giunti alla stesura della Specifica Tecnica e della Lista di Controllo ci si dovrebbe chiedere se lo scopo del progetto è stato chiarito a sufficienza, e in questo caso passare alla fase del Progetto Concettuale, oppure se si devono acquisire ulteriori informazioni per cui risulta necessario ripercorrere alcune delle fasi viste in precedenza per un loro approfondimento.

## 2.8 Vantaggi e Svantaggi del QFD

### 2.8.1 Vantaggi del QFD

Il QFD raccoglie tutte le attività di sviluppo del prodotto basandole sui bisogni del cliente e cercando di soddisfare sia quelle che sono le richieste espresse esplicitamente dal cliente stesso sia quelle latenti o implicite, cioè i fabbisogni invisibili che possono diventare dei vantaggi strategici una volta portati alla luce e sottoposti all'attività progettuale. L'obiettivo è quello di massimizzare le qualità "positive" che creano valore per il prodotto (quali per esempio la facilità d'uso, l'ergonomia, le prestazioni elevate, etc.) e minimizzare le qualità "negative" (quali per esempio i difetti, il servizio scarso, la difficoltà di utilizzo, etc.).

Possiamo concludere affermando che il QFD porta ai seguenti vantaggi:

- Aumenta la soddisfazione del cliente, in quanto orienta la progettazione verso i suoi bisogni e le sue necessità.
- Migliora la qualità finale del prodotto, evitando distorsioni interpretative di quelle che sono le aspettative e i bisogni reali del cliente (sia espliciti che impliciti).
- Migliora le prestazioni del processo di sviluppo dei nuovi prodotti a seguito dell'attenzione posta alle fasi preliminari di analisi e di pianificazione del prodotto; questo porta come conseguenza ad una riduzione delle modifiche progettuali durante tutto il percorso di progetto e durante la produzione e quindi ad una riduzione dei costi e dei tempi di progettazione.
- Riduce il Time to market (è una ulteriore conseguenza del punto precedente).

### 2.8.2 Svantaggi del QFD

Come con altre tecniche di gestione della progettazione di origine nipponica, quando applichiamo il QFD nell'ambiente e nella cultura occidentale, possiamo incorrere in alcuni problemi dovuti a un diverso modo di vedere la realtà e tutte le relazioni che si sviluppano in essa. Nell'analisi dei dati portata avanti dalla metodologia QFD, molte delle considerazioni da cui si parte si basano sulle percezioni del cliente, le quali sono certamente il risultato di un'indagine di mercato, ma sono anche il risultato di una "sensibilità" nei confronti del cliente che può essere più o meno accentuata.

Ad esempio risulterà molto difficile misurare le caratteristiche intangibili o estetiche di un prodotto da un punto di vista quantitativo. Se tale indagine viene eseguita in modo non corretto, l'intera analisi QFD potrebbe portare a conclusioni completamente errate e quindi ad un prodotto per nulla focalizzato sul cliente e sulle sue esigenze.

E' necessario inoltre considerare che anche se l'indagine di mercato è stata eseguita correttamente, dal momento che attualmente i bisogni e i desideri dei clienti cambiano molto rapidamente, i dati ottenuti da tale indagine potrebbero divenire ben presto obsoleti e quindi, nel caso in cui il processo di progettazione dovesse prolungarsi oltre il tempo di validità di quei dati, portare a delle conclusioni errate. E' necessario quindi tenere presente che ci si deve sempre adattare ai bisogni di un mercato in continua evoluzione, per cui il QFD risulta adatto a progetti di "breve" durata.

Infine dobbiamo osservare che a motivo della sua ragione di essere e della sua storia, il QFD risulta una metodologia più indicata per progetti innovativi incrementali, piuttosto che per progetti innovativi radicali, per i quali ci si può affidare ad ulteriori metodologie come per esempio il TRIZ, di cui ci occuperemo più avanti.

### 3 Il Progetto Concettuale

Al termine della fase di analisi del QFD è necessario chiedersi se esistono già delle **Soluzioni Progettuali** che soddisfino appieno tutte le caratteristiche tecniche risultanti dall'analisi stessa e che permettano al progettista di passare direttamente al **Progetto Costruttivo**, oppure, in caso contrario, se si debba procedere all'individuazione di una o più Soluzioni Progettuali attraverso un processo che Pahl e Beitz (Engineering Design, a Systematic Approach – 1997 ) hanno definito **Progetto Concettuale**. Il Progetto Concettuale è quella fase del processo progettuale nel quale il progettista mira all'identificazione e alla soluzione dei problemi essenziali di progetto ed all'eliminazione dei suoi punti deboli, al fine di ottenere lo sviluppo dettagliato della Soluzione Concettuale, cioè di una soluzione che non risulta ancora essere quella che possiede le migliori architetture preliminari e i migliori progetti di forma ma che presenta al suo interno tutte le indicazioni necessarie affinché esse siano realizzate.

#### 3.1 Il Progetto Concettuale: Formulazione Astratta del Problema

La prima fase del Progetto Concettuale è quella della **Formulazione Astratta del Problema**, che consiste nel descrivere il problema che il progettista deve risolvere, non in termini di soluzioni tecniche già consolidate ma in termini più astratti, in modo da svincolare il progettista rispetto a strade solutive già note e permettergli di addentrarsi in percorsi totalmente innovativi. Se, per esempio, dovessimo porci il problema di costruire un meccanismo noto come una **Rivettatrice**, una possibile formulazione astratta del problema potrebbe essere: “progettare un dispositivo per connettere due corpi forati attraverso dei rivetti metallici”. Questa formulazione del problema risulterebbe molto più astratta rispetto ad una più classica formulazione del problema che potrebbe essere, per esempio: “realizzare una pinza per rivettare”. Porre il problema nel primo modo permette al progettista di astrarre da particolari soluzioni già note, che potrebbero non essere quelle ottimali, e gli darebbe la possibilità di percorrere strade innovative mai affrontate prima.

#### 3.2 Il Progetto Concettuale: Le Strutture e i Livelli Funzionali

I requisiti tecnici che sono stati evidenziati nell'analisi QFD determinano l'esistenza delle funzioni del prodotto da progettare. Tali funzioni possono essere rappresentate dalle relazioni esistenti tra gli ingressi e le uscite di un sistema tecnico (una macchina, un gruppo, un impianto), che possono essere sempre schematizzati come Energia, Materiali e Informazioni in ingresso nel Sistema Tecnico ed Energia, Materiali e Informazioni in uscita dal medesimo sistema, vedi fig.22.



Fig. 22 Legami funzionali tra grandezze in ingresso e in uscita di un sistema tecnico

Una volta formulato in maniera astratta il problema, si può indicare una **Funzione Generale** che esprima la relazione tra gli ingressi e le uscite del Sistema Tecnico in maniera indipendente dal tipo di soluzione adottata. Tornando all'esempio precedente della rivettatrice, la sua Funzione Generale potrebbe essere descritta nel seguente modo: "unire un ferodo ed un ceppo attraverso un rivetto" (vedi fig. 23).

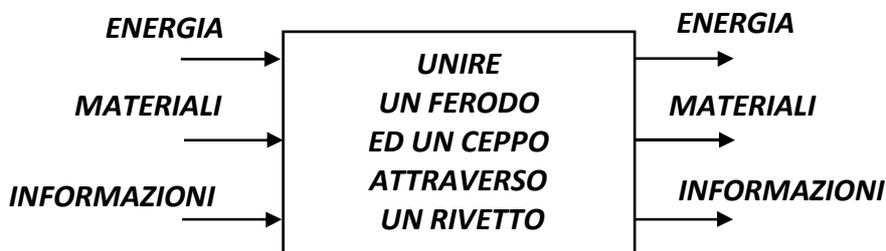


Fig. 23 Funzione Generale della Rivettatrice

Per descrivere la Funzione Generale della rivettatrice e di qualunque altro Sistema Tecnico, soprattutto nei casi in cui tale formulazione risulti di difficile elaborazione, potrebbe essere utile creare uno **schema funzionale** come quello descritto in fig. 24 e ricavare da esso la descrizione della Funzione Generale.

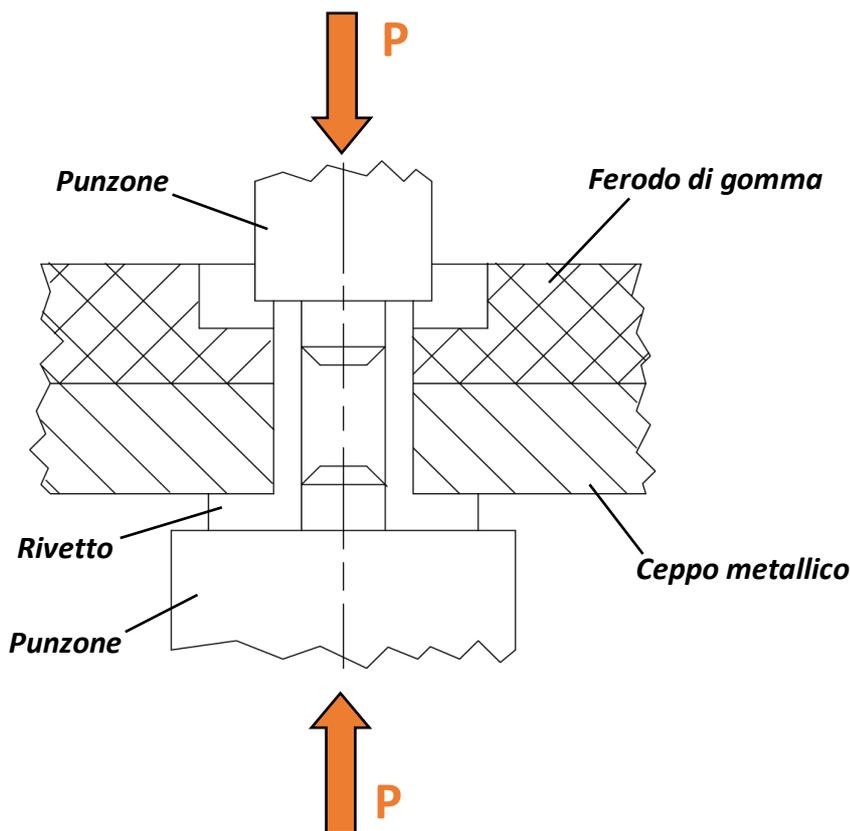


Fig. 24 Schema Funzionale della Rivettatrice

Se è vero che un Sistema Tecnico (Gruppo o Assieme) può essere suddiviso in Sotto Sistemi (Sottogruppi o Sotto-assiemi) di minore complessità, allora sarà anche vero che una Funzione Generale può essere suddivisa in Sotto-funzioni Generali che combinate insieme in maniera opportuna

comporranno proprio la Funzione Generale del Sistema. Lavorare sulle sotto-funzioni elementari permette al progettista di affrontare problemi più semplici, quelli relativi alle singole sotto-funzioni, piuttosto che un problema più complesso, quello della Funzione Generale. Trovare le soluzioni relative alle sotto-funzioni sarà molto più semplice che trovare la soluzione della Funzione Generale.

Una volta trovate le soluzioni per le sotto-funzioni, queste potranno essere ricombinate in diversi modi e ciascuno di tali modi potrà fornire diverse soluzioni in grado di compiere tutta la Funzione Generale.

In pratica il procedimento da seguire è quello di scomporre una Funzione Generale in Funzioni di sotto-livello più semplici. Queste Funzioni di sotto-livello possono essere a loro volta scomposte in ulteriori funzioni di sotto-livello (ad un livello ancora più basso del precedente) e così via, fino ad arrivare al livello di semplificazione che il progettista ritiene più opportuno.

Un Sistema Tecnico quindi può essere descritto da una Funzione Generale detta di primo livello e questa, a sua volta, può essere descritta da più funzioni di secondo livello, le quali possono essere descritte da più funzioni di terzo livello e così via (vedi fig.25).

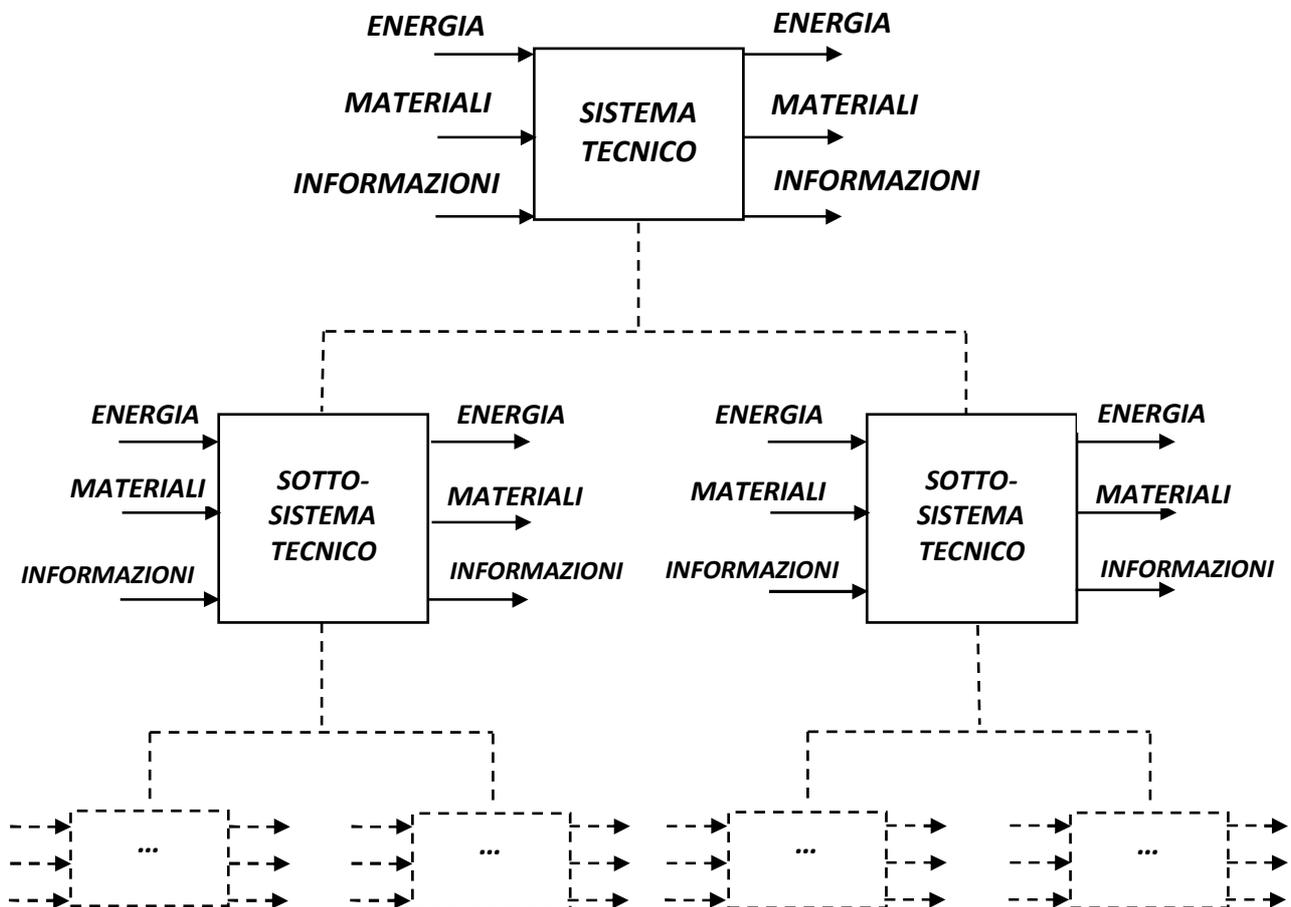


Fig. 25 Scomposizione del Sistema Tecnico in Sotto-Sistemi

Anche quando si passa ai sotto-livelli di funzione è opportuno mantenere una formulazione astratta del problema, cioè una formulazione neutrale rispetto alle conoscenze e alle soluzioni tecniche già note.

Quando si formulano in maniera astratta le Funzioni Generali di un **Sistema Tecnico** e le sue sotto-funzioni, siamo di fronte ad un **Processo di Trasformazione** delle tre grandezze **Energia, Materiali e Informazioni** che entrano all'interno di un Sistema Tecnico e ne fuoriescono trasformate.

Prendiamo come esempio sempre quello della Rivettatrice, considerando per semplicità solo il caso di rivettatura manuale. Inizialmente possiamo considerare le diverse operazioni che sono rese necessarie per svolgere la Funzione Generale di rivettatura:

- 1) Montare Ceppo e Ferodo e inserire il Rivetto
- 2) Posizionare i punzoni della Rivettatrice
- 3) Deformare plasticamente il Rivetto
- 4) Riportare la Rivettatrice alla posizione iniziale

Ciascuna delle tre Funzioni sopra riportate, prevede lo svolgimento di alcune sottofunzioni come di seguito descritte:

- 1) Montare Ceppo e Ferodo e inserire il Rivetto:
  - Prevedere degli appoggi e delle battute di riferimento tra le parti
  - Prevedere una corsa di avvicinamento
- 2) Posizionare i punzoni della Rivettatrice:
  - Prevedere diverse dimensioni dei punzoni
  - Prevedere l'afferraggio della Rivettatrice
  - Prevedere inviti e appoggi per i punzoni
- 3) Deformare plasticamente il Rivetto:
  - Prevedere una sorgente di energia (manuale-muscolare)
  - Prevedere l'amplificazione della forza applicata
  - Prevedere il movimento di avvicinamento dei punzoni
- 4) Riportare la Rivettatrice alla posizione iniziale:
  - Prevedere una restituzione elastica di parte dell'energia (molla)
  - Prevedere il movimento di allontanamento dei punzoni

Ogni Funzione e ogni Sotto funzione di un Sistema Tecnico conduce sempre alla trasformazione di Energia, Materiali e Informazioni e può essere descritta in maniera generale secondo una formulazione riconducibile a cinque casi generali:

1. CAMBIA il TIPO
2. VARIA la GRANDEZZA ovvero l'ENTITA'
3. CONNETTI
4. TRASPORTA
5. IMMAGAZZINA nel TEMPO

La declinazione delle cinque formulazioni generali per i diversi casi di Energia, Materiali e Informazioni è illustrata attraverso la tabella riportata in fig. 26:

FUNZIONE	ENERGIA	MATERIALI	INFORMAZIONI
1) CAMBIA	il tipo di energia (da elettrica a meccanica, ...)	il tipo e lo stato del materiale (da solido a liquido, da liquido a gassoso, ...)	il tipo e il contenuto dell'informazione (da meccanico ad elettrico, ...)
2) VARIA	le grandezze (Forza, Coppia, Spostamento, Rotazione, ...)	la forma e le dimensioni (per deformazione plastica, ...)	il segnale (aumentandone l'ampiezza, trasformandolo da analogico a digitale, ...)
3) CONNETTI	l'energia con un segnale, un flusso di informazioni (interruttore, ...)	la materia con l'energia (muovendo delle parti, ...)	i segnali con altri segnali (confronta le informazioni con altre informazioni, ...)
4) TRASPORTA	l'energia (trasferisci la forza o la coppia da un punto all'altro del sistema)	il materiale (trasporta materiale da un punto all'altro del sistema)	i segnali (da un punto all'altro del sistema)
5) IMMAGAZZINA	l'energia (in energia elastica, potenziale, cinetica, ...)	il materiale (prevedere un deposito o magazzino, ...)	i segnali e le informazioni (ad esempio in una memoria, ...)

Fig. 26 Forme generali delle funzioni in relazione ad Energia, Materiali e Informazioni

Ritornando all'esempio della Rivettatrice, consideriamo attraverso la fig. 27 come la Funzione Generale di "unire un ferodo e un ceppo attraverso un rivetto" possa essere decomposta in Sotto funzioni generali e come le grandezze Energia, Materiali e Informazioni vengano trasformate all'interno delle varie Sotto funzioni:

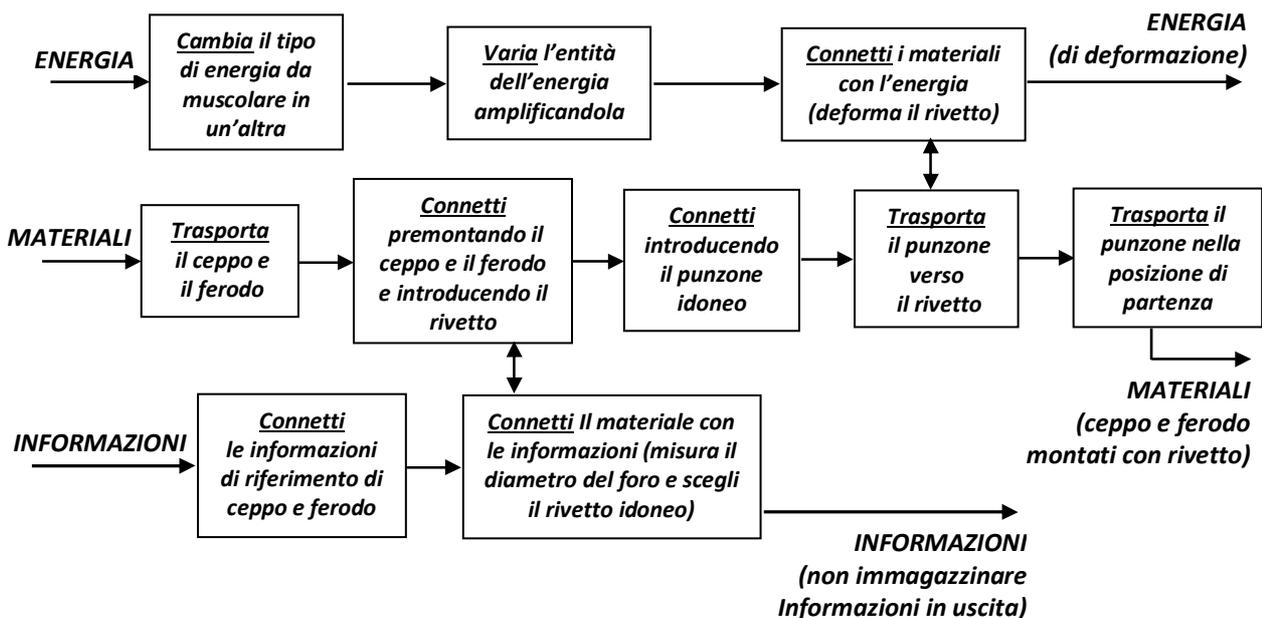


Fig. 27 Scomposizione della Funzione Generale della Rivettatrice in Sotto funzioni di primo livello

Terminiamo il paragrafo con una considerazione generale sulla Struttura Funzionale: nel caso in cui il progettista debba sviluppare un progetto innovativo (progetto originale) la Struttura Funzionale è fornita dalla Specifica Tecnica e dalla Formulazione Astratta del problema, mentre nel caso in cui il progettista debba solamente modificare un progetto esistente (progetto adattativo) la Struttura Funzionale è ricavata dall'Analisi del Progetto pre-esistente.

### 3.3 Il Progetto Concettuale: Identificazione dei Principi di Soluzione

Dopo aver individuato la Funzione Principale del Progetto ed averla scomposta in Sotto-Funzioni è necessario trovare i **Principi di Soluzione** relativi a ciascun livello funzionale che compone la Funzione Principale. I Principi di Soluzione possono essere trovati attraverso i **Metodi Convenzionali** di Analisi, attraverso il **Brainstorming** e attraverso i **Metodi Deduttivi basati su Modelli Teorici e Leggi Fisiche**.

#### 3.3.1 I Metodi Convenzionali

I Metodi Convenzionali si basano sulle ricerche in letteratura tecnica dei Principi di Soluzione, sull'analisi dei sistemi naturali, sull'analisi dei sistemi tecnici esistenti, sulle analogie, sulle misure e prove sperimentali su modelli e sulle analisi brevettuali.

#### 3.3.2 Il Brainstorming

Il Brainstorming cerca i Principi di Soluzione relativi a ciascun livello funzionale basandosi sulle associazioni libere di idee provenienti da intuizioni estemporanee di un gruppo di persone che considera contemporaneamente lo stesso problema e che per non limitare la propria "creatività", invece di correggersi a vicenda, opera una sorta di salto continuo da una soluzione all'altra, portata avanti induttivamente.

#### 3.3.3 I Metodi Deduttivi basati su Modelli Teorici e Leggi Fisiche

Questi metodi cercano dei Principi di Risoluzione basandosi:

- 1) sullo studio dei fenomeni fisici:
  - utilizzo dell'effetto cuneo
  - utilizzo dell'effetto leva
  - utilizzo dell'effetto dell'attrito
  - etc.
- 2) sugli schemi di classificazione; ad esempio l'Energia può essere classificata come:
  - meccanica → forza di gravità, forza di inerzia, forza centrifuga (volano, etc.)
  - idraulica → forza idrostatica, forza idrodinamica (cilindro oleodinamico)
  - pneumatica → forza aerostatica, forza aerodinamica (cilindro pneumatico)
  - elettrica → forza elettrostatica, elettrodinamica, piezoelettrica, capacitiva, induttiva
  - magnetica → forza elettromagnetica
  - ottica → riflessione, polarizzazione

- termica → espansione termica
- chimica → combustione, reazione esotermica, reazione endotermica
- biologica → fermentazione organica
- nucleare → reazione nucleare

3) sull'utilizzo dei cataloghi di progettazione:

essi si basano su raccolte di soluzioni già note per determinati problemi di progettazione e che possono essere riutilizzate per problemi simili.

### 3.4 Il Progetto Concettuale: la Matrice Morfologica e le Varianti Concettuali

Una volta ottenuti i Principi di Soluzione per ciascuna Sotto-Funzione è necessario combinare tali Principi al fine di ottenere diverse possibili Soluzioni che soddisfino ogni Sotto-Funzione e che chiameremo **Varianti Concettuali**. Per ottenere le Varianti Concettuali è utile utilizzare la **Matrice Morfologica**, una matrice costituita da **m righe**, dove m è il numero delle sotto-funzioni in cui è stata scomposta la Funzione Principale e da **n colonne**, dove n è il numero dei Principi di Soluzione possibili per ciascuna Sotto-funzione (come esempio vedi la fig.28).

Le Varianti Concettuali possono essere costruite “percorrendo” la Matrice Morfologica con delle linee spezzate che partono da un qualunque elemento della prima riga per andare in un qualunque altro elemento della seconda riga e così via fino all'ultima riga m (come esempio vedi la fig. 29). Le combinazioni risultanti potrebbero essere in numero elevato ma non tutte costituiranno delle Varianti Concettuali accettabili, perché solamente alcuni **Principi di Soluzione** saranno **Fisicamente e Geometricamente compatibili** tra loro.

MATRICE MORFOLOGICA	Principio di Soluzione 1	Principio di Soluzione 2	...	Principio di Soluzione n-1	Principio di Soluzione n
Sotto-funzione 1	PS <sub>11</sub>	PS <sub>12</sub>	...	PS <sub>1(n-1)</sub>	PS <sub>1n</sub>
Sotto-funzione 2	PS <sub>21</sub>	PS <sub>22</sub>	...	PS <sub>2(n-1)</sub>	PS <sub>2n</sub>
...	...	...	...	...	...
Sotto-funzione m-1	PS <sub>m-1</sub>	PS <sub>m-2</sub>	...	PS <sub>(m-1)(n-1)</sub>	PS <sub>m-1n</sub>
Sotto-funzione m	PS <sub>m1</sub>	PS <sub>m2</sub>	...	PS <sub>m(n-1)</sub>	PS <sub>mn</sub>

Fig. 28 Matrice Morfologica

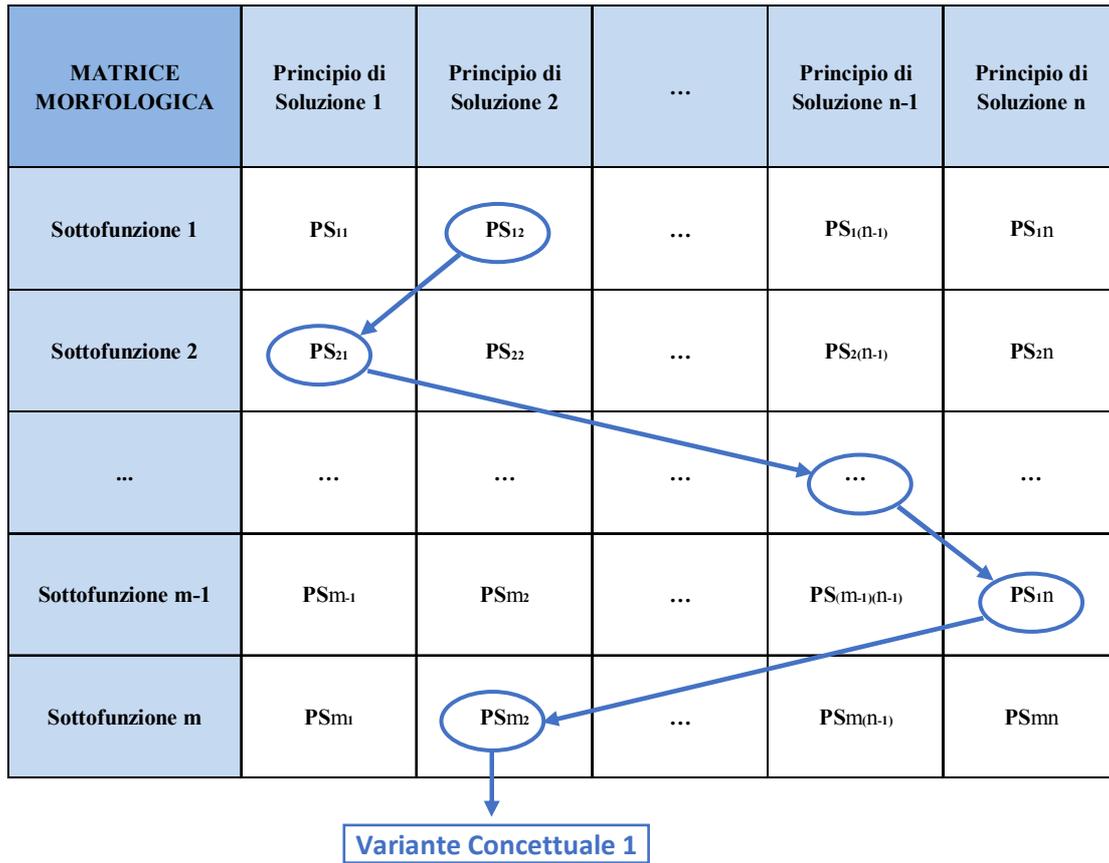


Fig. 29 Matrice Morfologica e costruzione delle Varianti Concettuali

### 3.5 Il Progetto Concettuale: la Matrice Decisionale e la Tabella di Valutazione

Nel caso in cui il numero delle Varianti Concettuali tra cui scegliere una possibile soluzione ottimale sia molto elevato, oppure nel caso in cui non appaia immediato per il progettista scegliere la Soluzione Ottimale tra quelle che si presentano, si può utilizzare un ulteriore strumento di analisi e di scelta: la **Matrice Decisionale** (come esempio vedi fig.30).

MATRICE DECISIONALE	Soddisfa le richieste della Specifica Tecnica ?	I Principi di Soluzione Utilizzati sono Compatibili tra loro ?	La Combinazione dei Principi di Soluzione è realizzabile ?	Rientra nei costi ammissibili ?	Incorpora misure di sicurezza dirette ?	E' compatibile con la tecnologia aziendale ?	C'è una adeguata informazione ?	OSSERVAZIONI	DECISIONE
Variante Concettuale 1	+	+	+	+	+	+	+		+
Variante Concettuale 2	-	+	+	+	+	+	+	Problemi di ingombro longitudinale	-
Variante Concettuale 3	+	+	+	+	+	+	-	E' una soluzione completamente innovativa	-
Variante Concettuale 4	+	+	+	+	+	+	+	Problemi di ingombro trasversale	+
Variante Concettuale 5	+	+	+	+	?	+	+	Ci sono dubbi relativamente alla sicurezza	?
...	...	..	...	...	...	...	...	...	...
Variante Concettuale (k-1)	+	+	+	+	+	+	+		+
Variante Concettuale k	-	+	+	+	+	+	-	Richiede una struttura molto pesante - E' una soluzione completamente innovativa	-

Fig. 30 Matrice Decisionale

La costruzione della **Matrice Decisionale** prevede di inserire nelle righe tutte le Varianti Concettuali risultanti dalla Matrice Morfologica (Variante Concettuale 1, Variante Concettuale 2, ..., Variante Concettuale k) mentre richiede di inserire nelle colonne i seguenti controlli:

- 1) Soddisfa i requisiti della Specifica Tecnica?
- 2) I Principi di Soluzione utilizzati sono Compatibili tra di loro?
- 3) La Combinazione dei Principi di Soluzione è realizzabile?
- 4) Rientra nei costi ammissibili?
- 5) Incorpora misure di sicurezza dirette, oppure la sicurezza è da rivedere?
- 6) E' compatibile con la tecnologia aziendale, cioè rientra nel know-how produttivo aziendale?
- 7) C'è una adeguata informazione sui Principi di Soluzione e sulla loro Combinazione oppure la Soluzione risultante è completamente innovativa?

Per ciascuna riga e colonna dovranno inoltre essere espresse delle valutazioni positive (+), dubitative (?) o negative (-) rispetto al requisito stesso.

Nella penultima colonna della Matrice Decisionale, quella relativa alle OSSERVAZIONI, verranno inseriti i commenti relativi ai giudizi negativi (-) o ai dubbi (?) riportati nella riga presa in considerazione, mentre nell'ultima colonna, quella della DECISIONE, verrà riportato:

- il segno + se sono presenti tutti segni + nella riga presa in considerazione
- il segno – se è presente almeno un segno – nella riga presa in considerazione
- il segno ? se è presente almeno un segno ? nella riga presa in considerazione

La fase del Progetto Concettuale relativa alla Matrice Decisionale può essere vista come una sorta di **Design Review**, infatti a questo punto del processo di design il progettista potrebbe ritenere utili l'approfondimento o la revisione delle funzionalità relative alle Varianti Concettuali che presentano dei segni – o dei segni ? per poi procedere ad una loro nuova valutazione attraverso la Matrice Decisionale, oppure il progettista potrebbe scegliere di procedere solo con le Varianti Concettuali positive, quelle cioè che hanno riportato solamente segni + , tralasciando tutte le altre.

Dopo aver ottenuto e valutato le Varianti Concettuali e prima di decidere quale sarà la Soluzione Ottimale tra di esse, è necessaria un'ulteriore analisi; infatti il Progetto Concettuale non deve soddisfare solamente le **funzionalità** del **prodotto**, ma deve soddisfare una serie di **specifiche** che risulteranno valutabili a completamento di tutta una serie di analisi che potremmo elencare nel seguente modo:

- Schizzi di configurazione, di ingombro e di forma.
- Primi calcoli approssimati (strutturali, cinematici, etc.) basati su ipotesi semplificative
- Modellazione CAD.
- Analisi e Simulazioni CAE (analisi FEM, analisi Cinematiche, analisi Dinamiche, analisi Termiche, analisi Fluidodinamiche, etc.).
- Test sui Prototipi virtuali e Fisici del prodotto (attraverso tecnologie di Virtual Reality, Augmented Reality e Rapid Prototyping).
- Ulteriori ricerche su nuove tecnologie, materiali, parti commerciali già esistenti, brevetti, letteratura specializzata.

Possiamo adesso valutare le Varianti Concettuali in base ai punteggi assegnati ai singoli criteri di valutazione attraverso una tabella, detta appunto **Tabella di Valutazione**, di cui è riportato un esempio in fig.31, in accordo con la direttiva tecnica VDI 2225. La Tabella di Valutazione deve riportare nelle singole righe gli obiettivi ritenuti più importanti dal punto di vista dei **Criteri di Utilizzo** del prodotto e questi dovrebbero essere valutati attraverso una **scala** che va **da 0 a 4** per ciascuna Variante Concettuale esaminata. A questo punto è possibile ottenere per ogni Variante Concettuale l'**Importanza Tecnica**, data dalla somma dei valori di colonna, e l'**Importanza Tecnica Normalizzata**, data dalla somma precedente, normalizzata rispetto alla Soluzione Ideale, una soluzione puramente teorica e che come tale dovrebbe avere tutti i criteri di utilizzo valutati con il massimo punteggio, cioè con 4.

	CRITERI	Variante Concettuale 1	Variante Concettuale 4	Variante Concettuale k-1	SOLUZIONE IDEALE	
CRITERI DI UTILIZZO	Velocità	4	4	4	4	
	Potenza	4	3	4	4	
	Coppia max.	3	3	4	4	
	Consumo medio	3	1	3	4	
	Peso	2	4	3	4	
	Serbatoio	3	4	2	4	
	Capacità bagagliaio	3	4	3	4	
	Cilindrata	3	2	4	4	
	<b>Totale</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>32</b>	<b>←</b> <i>Importanza Tecnica</i>
	<b>Totale Normalizzato</b>	<b>0,78</b>	<b>0,78</b>	<b>0,84</b>	<b>1,00</b>	<b>←</b> <i>Importanza Tecnica Normalizzata</i>
CRITERI DI COSTO	Semplicità Costruttiva (numero di parti)	3	4	3	4	
	Semplicità di montaggio (attrezzature, impianti)	3	4	3	4	
	<b>Totale</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>←</b> <i>Importanza Economica</i>
	<b>Totale Normalizzato</b>	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	<b>0,75</b>	<b>1,00</b>	<b>←</b> <i>Importanza Economica Normalizzata</i>

Fig. 31 Tabella di Valutazione

In seguito, la Tabella di Valutazione dovrebbe riportare nelle singole righe anche gli obiettivi ritenuti importanti dal punto di vista dei **Criteria di Costo** e anche questi dovrebbero essere valutati attraverso una **scala** che va **da 0 a 4**. Si ottiene allora per ogni Variante Concettuale l'**Importanza Economica**, data dalla somma dei valori di colonna, e l'**Importanza Economica Normalizzata**, data dalla somma precedente normalizzata rispetto alla Soluzione Ideale che dovrebbe avere tutti gli obiettivi di costo valutati con il massimo punteggio, cioè con 4.

Chiaramente la Variante Concettuale avente Importanza Tecnica ed Importanza Economica più alte sarà quella Ottimale, proprio perché sarà quella più vicina alla Soluzione Ideale.

Rappresentando sull'asse delle ascisse i Criteri di Utilizzo (Importanza Tecnica) e sull'asse delle ordinate i Criteri di Costo (Importanza Economica), è possibile **descrivere graficamente** nel piano, attraverso dei punti che riportano tali criteri, le **posizioni** delle diverse **Varianti Concettuali** in riferimento alla Soluzione Ideale (cioè alla Variante Concettuale con tutti i punteggi massimi, ovvero pari a 4); tale rappresentazione è stata riportata nella fig.32:

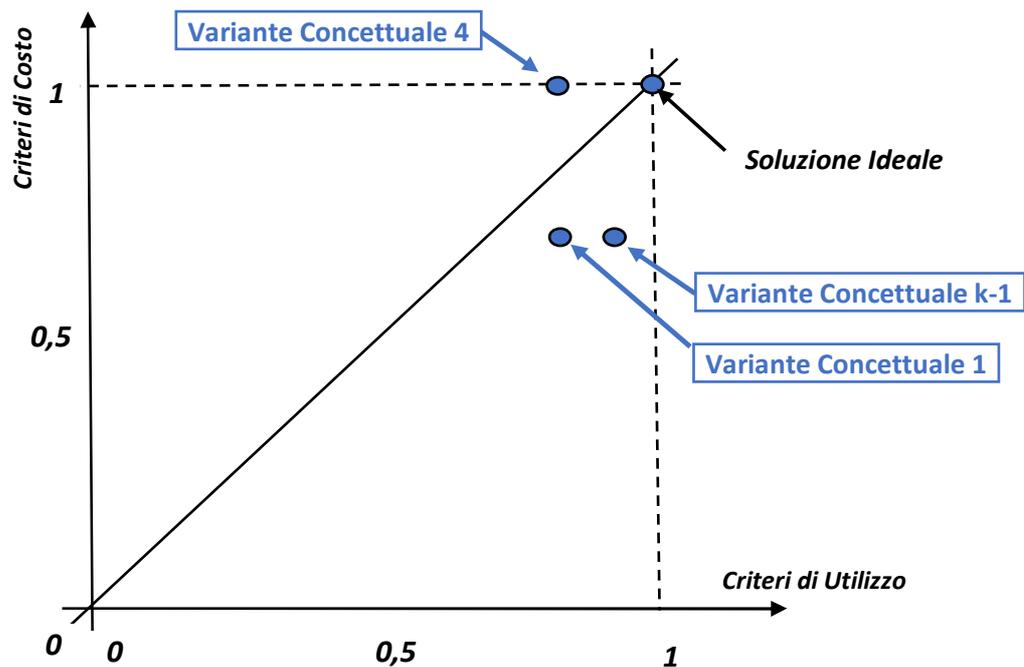


Fig. 32 Rappresentazione grafica delle Varianti Concettuali relativamente ai Criteri di Costo e Utilizzo

Questa rappresentazione grafica è molto utile perché indica molto chiaramente al progettista quali sono le **Soluzioni più Equilibrate** da un punto di vista sia Tecnico che Economico (esse sono quelle più vicine alla diagonale passante per i punti (0,0) e (1,1)) e quali sono le **Soluzioni più o meno performanti**. Delle tre soluzioni rappresentate nell'esempio di fig. 32 la Variante Concettuale k-1 è quella più performante da un punto di vista di Utilizzo, la Variante Concettuale 4 è quella più performante da un punto di vista di Costo, mentre la Variante Concettuale 1 è quella meno performante ma più equilibrata, in quanto è quella più vicina alla diagonale passante per i punti (0,0) e (1,1).

Una volta terminata l'analisi QFD e il Progetto Concettuale, bisognerà passare alle fasi successive della progettazione, ovvero alla **Progettazione Costruttiva** e alla definizione del **Processo Produttivo**.

Sarà quindi necessario procedere alla traduzione delle Specifiche di Progetto per il Sistema in Specifiche di Dettaglio per i Sotto-sistemi e i componenti.

In seguito si dovranno determinare le operazioni e i processi di fabbricazione, previa una pianificazione eventuale di investimenti in macchinari e attrezzature.

Anche le operazioni di fabbricazione avranno le loro specifiche di produzione che a loro volta dovranno seguire delle specifiche di qualità, quali ad esempio l'ispezione dei materiali e dei semilavorati acquistati e da cui partire con la produzione dei particolari costruttivi, il controllo delle fasi del processo, i programmi di manutenzione preventiva dei macchinari, la stesura di tutte le procedure utilizzate per la fabbricazione dei prodotti e anche l'addestramento del personale operativo.

Uno schema dei processi sopra elencati potrebbe essere quello riportato in fig.33.

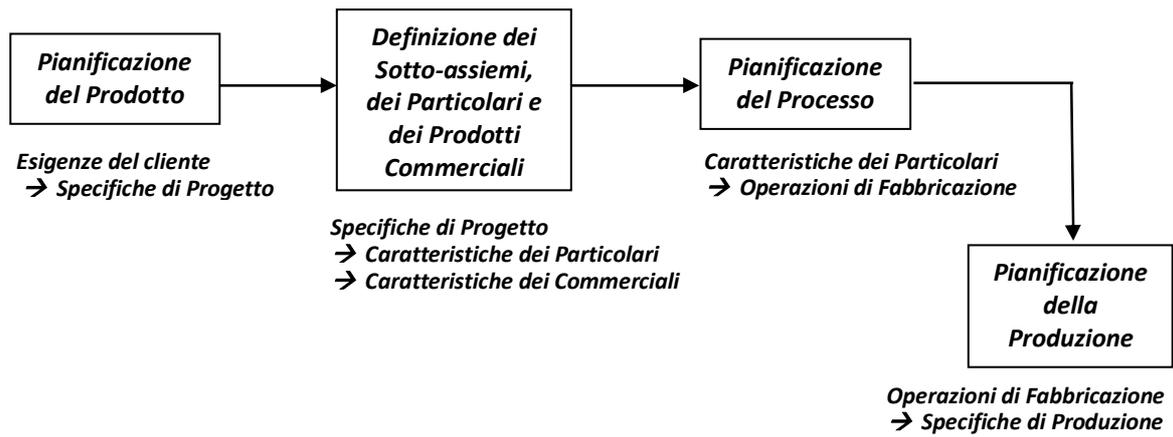


Fig.33 Processi relativi al Progetto Costruttivo e al Processo Costruttivo

#### 4. La Metodologia Triz

**TRIZ** è l'acronimo russo di “Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch”, che può essere tradotto come “**Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi**”, una metodologia finalizzata allo sviluppo di idee innovative e sviluppata in Russia a partire dal 1946 da Genrich Saulovich Altshuller, un ingegnere sovietico, scienziato, giornalista e scrittore.

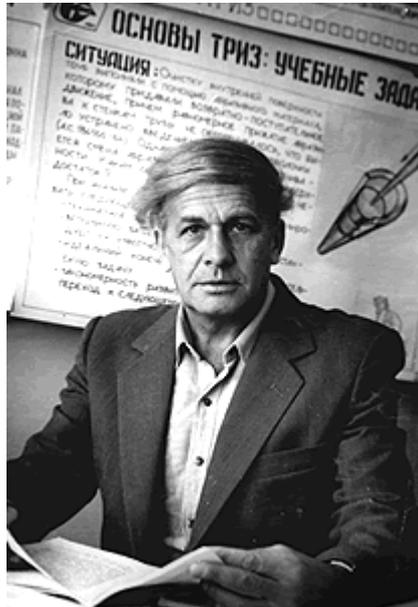


Fig.34 Genrich Saulovich Altshuller

La Metodologia TRIZ è un Metodo di Progettazione che considera in particolare le prime fasi della progettazione, ovvero quelle relative all’ideazione delle soluzioni innovative e si presta ad essere applicata in diversi campi e settori, non solo in quello della progettazione meccanica; il Metodo rimane lo stesso nelle varie discipline ma viene declinato di volta in volta nei diversi ambiti e settori.

Il TRIZ si occupa della **Soluzione dei Problemi** che **implicano** una **attività inventiva**, ovvero un’attività creativa. Normalmente non risulta facile parlare di attività creativa all’interno dei processi di progettazione e risulta ancor meno facile parlare di metodi e di metodologie per innovare ed essere creativi. La Creatività è un termine che nel campo dell’ingegneria viene visto con sospetto, eppure la Creatività dovrebbe essere alla base dell’attività progettuale, anzi bisognerebbe addirittura dotarsi di un Metodo, o meglio di più Metodi, per la Ricerca di **Soluzioni Innovative** che porteranno in definitiva a Prodotti Innovativi. Accettare l’idea che possa esistere una metodologia per innovare ed essere creativi non è immediato e richiede sicuramente del tempo, ma questo è vero in generale in tutti i settori. Se volessimo rappresentare graficamente la curva di accettazione delle idee innovative all’interno della società otterremmo un grafico simile a quello di fig. 35:

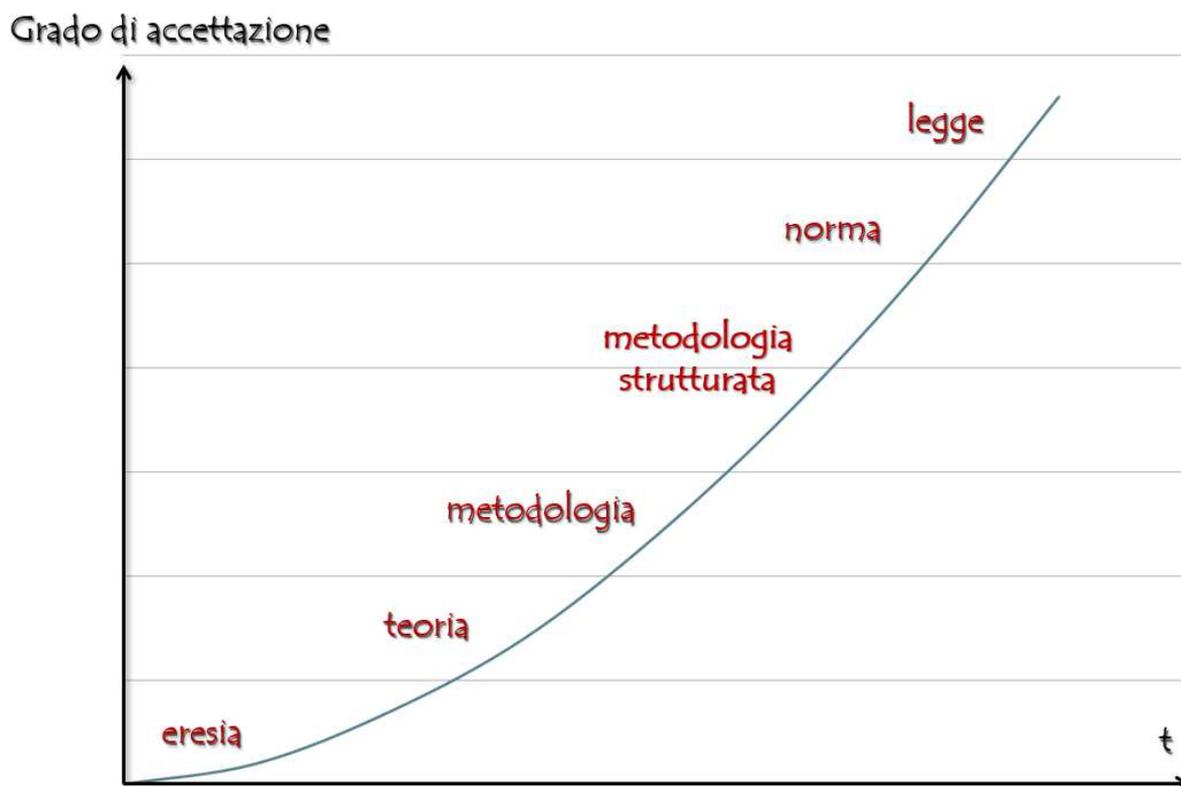


Fig.35 Grado di accettazione delle idee innovative nella società

In pratica questo grafico ci dice che quando qualcosa di veramente innovativo viene divulgato all'interno della società esso appare come una **eresia**; dopo un po' di tempo, se quella idea resiste alle critiche che gli sono mosse magari dagli esperti del settore, si inizia a pensare a quella idea come ad una **teoria** accademica, lontana però dalla realtà produttiva aziendale; quando la teoria accademica si consolida e si inizia ad utilizzarla e a metterla in pratica su alcuni casi puntuali, essa diventa una **metodologia**; nel momento in cui la teoria accademica si consolida maggiormente e si inizia ad utilizzarla e a metterla in pratica in un grande numero di casi essa diventa una **metodologia strutturata**; si passa alla **norma** quando la metodologia strutturata viene riconosciuta da una intera comunità professionale, come ad esempio un collegio di ingegneri; infine, in alcuni casi particolari, la norma potrebbe essere recepita come **legge**.

Per quanto riguarda le metodologie della qualità come il QFD oggi siamo posizionati più avanti, nella curva di accettazione delle nuove idee, rispetto alle metodologie di innovazione come il TRIZ (vedi fig.36).

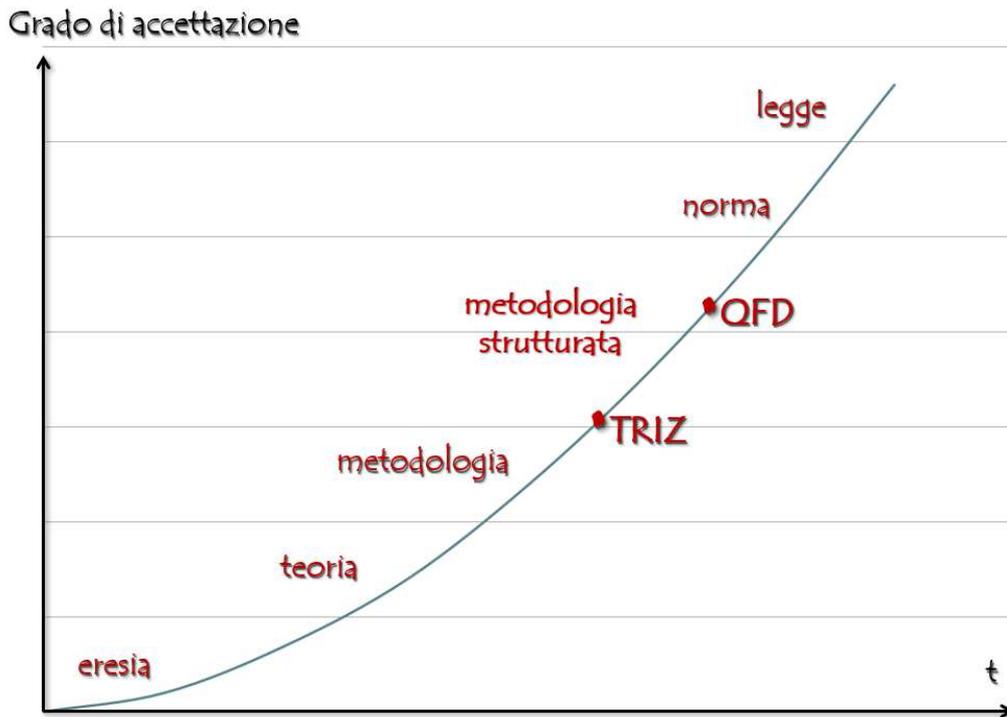


Fig.36 Posizionamento del QFD e del TRIZ sulla curva di accettazione delle idee innovative nella società

C'è una idea che regna oggi nel mondo aziendale: innovare costa troppo. Da dove nasce questa idea? Dall'analisi fatta su quelle che sono le "idee nate" in azienda ed i successi ottenuti da esse in termini di prodotti immessi sul mercato (vedi fig.37).

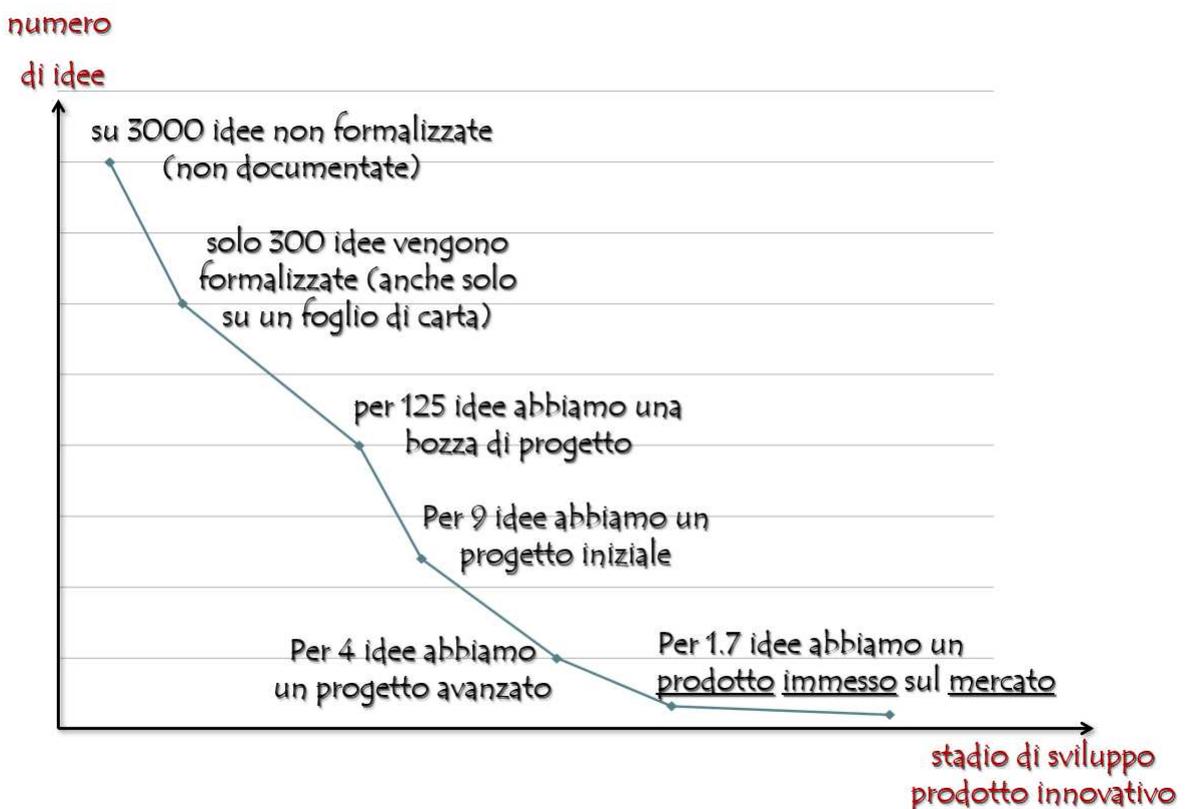


Fig.37 Rappresentazione grafica del rapporto tra il numero di idee nate in azienda e il numero di idee effettivamente trasformate in un prodotto immesso sul mercato

Tale analisi ci dice che su 3000 idee non formalizzate, cioè non documentate, “pensate” in azienda:

- ✓ 300 idee verranno formalizzate (anche semplicemente su un foglio di carta)
- ✓ 125 idee avranno una bozza di progetto
- ✓ 9 idee avranno un progetto iniziale
- ✓ 4 idee avranno un progetto avanzato
- ✓ 1.7 idee saranno concretizzate in un prodotto immesso sul mercato

Alla luce di questa analisi risulta chiaro il perché una azienda reputi troppo costoso investire in innovazione: lo “spreco di energie aziendali” risulta essere troppo oneroso. La domanda quindi è: Perché abbiamo questo “spreco” enorme di energie durante un processo di innovazione? Perché lo sviluppo di nuove idee è portato avanti con il tradizionale metodo del “Try and Error”, un metodo molto utilizzato nel passato ma oggi troppo costoso per le aziende che hanno sempre meno risorse da dedicare alla ricerca ed allo sviluppo di prodotti innovativi. Nasce proprio da qui la necessità di una Metodologia per la Progettazione Innovativa come il **TRIZ**.

Torniamo al concetto di creatività di cui abbiamo accennato all’inizio di questo capitolo. L’idea oramai diffusa a livello aziendale è quella che ad una grande quantità di idee corrisponda una grande capacità creativa e che tra tante idee generate ci sarà sicuramente quella buona che potrà garantire un prodotto di successo. Questo può anche essere vero, ma non è sicuramente funzionale per lo sviluppo di prodotti innovativi, perché avere centinaia di idee significa dover dedicare molte risorse per verificarle tutte, ma come abbiamo detto prima le aziende oggi non possono permettersi un utilizzo così oneroso delle proprie energie. E’ meglio avere una sola idea che funzioni piuttosto che centinaia di idee da verificare.

In pratica bisognerebbe filtrare a priori tutte le “strade” che hanno poca potenzialità ed evitare di utilizzare enormi energie per risolvere dei problemi che non portano a nulla in termini di innovazione; è proprio su questi concetti che si basa la Metodologia TRIZ.

Nel generare una idea innovativa, si possono incontrare diverse difficoltà, vediamone in particolare tre, quelle che possono essere considerate le più importanti:

- 1) L’Inerzia psicologica
- 2) La mancanza di metodo
- 3) L’Idea del giusto compromesso

### **1) L’Inerzia psicologica**

L’Inerzia Psicologica è la naturale tendenza a crearsi dei “percorsi preferenziali” per risolvere dei problemi o per svolgere delle attività. Quando ad esempio si impara ad andare in bicicletta, inizialmente ogni singolo movimento viene pensato ed elaborato, ma dopo un po’ tutto avviene in “modo automatico”, perché il cervello si è creato degli automatismi, in modo da “liberarsi” da certi compiti per poter avere la possibilità di assumerne degli altri.

Questo è ottimo dal punto di vista dell’efficienza nelle attività ripetitive, ma è drammatico quando si deve creare qualcosa di innovativo, perché si daranno per scontati tutta una serie di passaggi logici che si dovrebbero invece mettere in discussione. L’inerzia psicologica porta a dare per

scontate delle relazioni che in realtà non sono obbligatoriamente vere, o che non fanno parte del problema e porta a considerare necessarie delle relazioni che in realtà sono solo delle convenzioni di uso di un certo prodotto.

Inoltre più si è esperti di un certo settore di progettazione e più automatismi ci si creerà per risolvere i problemi che si incontrano in quel settore.

## 2) La mancanza di metodo

Generalmente si pensa che per ottenere una nuova idea buona siano necessarie tante idee da cui partire. E' per questa ragione che spesso si procede alla ricerca di una buona idea attraverso il **Brainstorming** (un metodo strutturato di ricerca di nuove soluzioni), il **Synetics** (un metodo di "Problem Solving"), il **Reframing** (un altro metodo di "Problem Solving"), ma anche il **Lateral Thinking**, lo **SCAMPER** (Substitute, Combine, Adapt, Modify, Put to another use, Eliminate, Reverse) ed altre metodologie.

Tutti questi metodi sono stati ideati da degli psicologi, in particolare da degli psicologi cognitivi e sono ottimi per stimolare il progettista a guardare a 360° un qualunque problema, il problema di questi metodi però è che non lo spingono ad andare in una direzione privilegiata, cioè non lo indirizzano "correttamente"; in pratica il progettista si troverà nella condizione di dover esplorare le soluzioni in tutte le direzioni con grande dispendio di energie, ma questo, da un punto di vista di un utilizzo razionale delle risorse aziendali, oggi non è più accettabile. Ciò che attualmente risulta necessario è piuttosto una metodologia strutturata di progettazione innovativa che indirizzi l'attenzione del progettista su quelle che sono le direzioni più proficue per la ricerca di soluzioni innovative dei problemi.

## 2) L'Idea del giusto compromesso

Spesso ci si trova di fronte ad un problema progettuale che nasce dalla conflittualità di una caratteristica tecnica del sistema tecnico con un'altra, ad esempio potremmo trovarci nella situazione in cui la temperatura deve essere alta per alcune parti di un sistema ma bassa per altre, oppure la necessità di avere rigidità elevata per un sistema tecnico che deve essere allo stesso tempo leggero. La strada più veloce per risolvere questo tipo di problemi è quella del "giusto compromesso": una temperatura "tiepida" che non dia troppo "fastidio" alle parti che devono essere fredde e che sia sufficiente per le parti che devono essere calde, oppure spessori non troppo elevati per i componenti di un sistema che deve essere abbastanza leggero ma allo stesso tempo neppure troppo ridotti per poter mantenere una certa rigidità del sistema stesso. Ora, ciò che avviene praticamente adottando l'idea del giusto compromesso non è la nascita di idee innovative che possano superare la **Contraddizione** (o le Contraddizioni) del **Sistema**, ma bensì una sorta di ottimizzazione per ridurre ai minimi termini possibili gli eventuali problemi che insorgono.

Lo **scopo** della **metodologia TRIZ** è proprio quello di vincere l'inerzia psicologica del progettista, fornirgli una metodologia strutturata di innovazione per permettergli di superare le contraddizioni tecniche.

#### 4.1. Triz – Modello a quattro elementi di un Sistema Tecnico (o Modello Minimo)

Secondo la teoria che sta alla base del TRIZ ciascun Sistema Tecnico in cui entrano ed escono **Energia, Materiali e Informazioni** (vedi fig.38), può essere considerato costituito da quattro parti principali:

- ✓ **Lo strumento** (tool)
- ✓ **Il motore** (engine)
- ✓ **La trasmissione** (transmission)
- ✓ **L'unità di controllo** (control unit)

La fig.39 offre uno schema rappresentativo del **Modello a quattro elementi di un Sistema Tecnico** secondo la teoria del TRIZ; invece di considerare in entrata e in uscita l'energia, i materiali e le informazioni, è stata considerata come grandezza in ingresso solamente la Sorgente di Energia (energy source) ed in uscita il Prodotto (product) realizzato. Per Prodotto si intende l'entità che viene modificata nel processo di realizzazione della Funzione del Sistema Tecnico da parte dello Strumento che invece è la parte del Sistema Tecnico che interagisce con il Prodotto; ad esempio nel caso di una lavorazione con asportazione di truciolo al tornio, lo strumento non è tutto il tornio ma solamente l'utensile che va a contatto diretto con il materiale. Il Motore è l'elemento del Sistema Tecnico che assorbe e trasforma l'Energia, mentre la Trasmissione è l'elemento del Sistema Tecnico che trasmette l'Energia dal Motore allo Strumento.

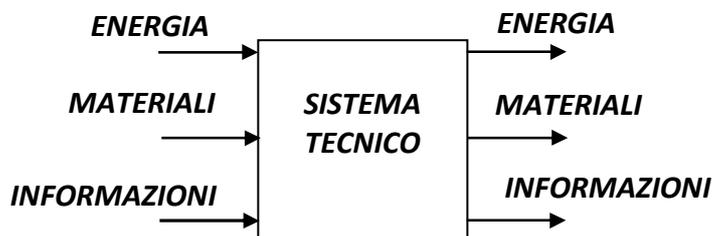


Fig. 38 Rappresentazione generale di un Sistema Tecnico

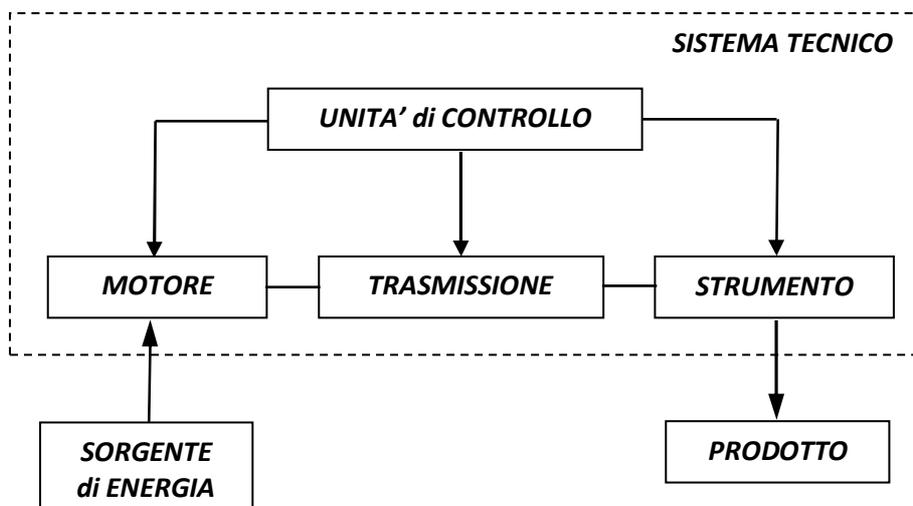


Fig.39 Modello a quattro elementi di un Sistema Tecnico

Osservazione: possono esserci casi in cui la Sorgente di Energia si trova all'interno del Sistema Tecnico (come ad esempio accade per le batterie di un avvitatore), oppure casi in cui il Motore e la Sorgente di Energia coincidono (come ad esempio avviene per una automobile con motore endotermico).

## 4.2 Principi su cui si basa la Metodologia TRIZ

Quando Genrich Altshuller iniziò a ideare la sua “Teoria per la Soluzione Inventiva dei Problemi” partì dall'analisi di una grande quantità di brevetti, alcune centinaia di migliaia. Fu proprio l'analisi di un così grande numero di brevetti che lo portò ad elaborare i TRE concetti chiave del TRIZ:

- 1) I Sistemi Tecnici evolvono secondo Modelli Ripetibili di Evoluzione.
- 2) Le Invenzioni che segnano una svolta epocale sono quelle che non accettano il Compromesso per risolvere le Contraddizioni.
- 3) Contraddizioni uguali, portano a Percorsi Solutivi uguali.

### 4.2.1 I Sistemi Tecnici evolvono secondo Modelli Ripetibili di Evoluzione

#### 1.1 - Legge dell'Integrazione

Quando si prende in considerazione l'evoluzione di un sistema tecnico, è possibile individuare delle Leggi Evolutive, cioè dei Modelli Ripetibili di Evoluzione, che possono essere la guida per capire in quale direzione rivolgere la ricerca della soluzione di un problema inventivo. In particolare i Sistemi Tecnici evolvono sempre cercando di **integrare al proprio interno** tutti gli elementi tecnici che compongono il sistema stesso.

In figura 40 è riportato l'esempio di evoluzione di un Sistema Tecnico atto ad avvitare una vite. La soluzione classica prevederebbe l'utilizzo del cacciavite [1 di fig. 40].

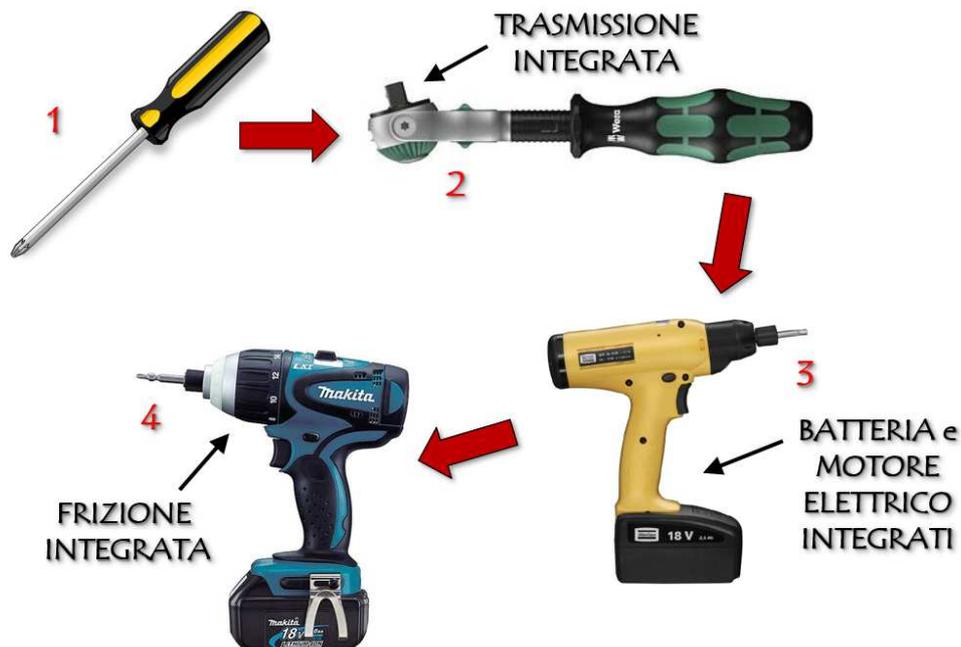


Fig.40 esempio di evoluzione di un sistema tecnico

Precisiamo che il cacciavite è soltanto uno **strumento**, perché se metto il cacciavite vicino alla vite da avvitare non accade nulla, quindi per avvitare la vite attraverso il cacciavite è necessario anche **produrre dell'energia, veicolare** tale energia e **controllare** l'energia stessa.

Osservando l'evoluzione del cacciavite possiamo affermare che in un primo momento si è passati ad oggetti con una trasmissione integrata [2 di fig. 40], in cui cioè l'energia è veicolata automaticamente attraverso una testa oscillante ma la sua produzione e il suo controllo sono ancora manuali.

In seguito si è passati a dei prodotti [3 di fig. 40] in cui anche la produzione di energia è stata integrata attraverso una batteria ed un motore elettrico ma il controllo dell'energia è rimasta manuale.

Infine si è giunti a prodotti [4 di fig. 40] in cui anche il controllo dell'energia è stato integrato attraverso una frizione.

## 1.2 - Legge dell'Idealità

Un'altra modalità attraverso la quale i Sistemi Tecnici evolvono è quella della **Idealità' del Sistema**. La Legge dell'Idealità ci dice che un Sistema Tecnico tende a svilupparsi divenendo sempre più semplice ed efficace e massimizzando l'utilizzazione delle **risorse** sia interne che esterne ad esso. Ora, che cosa è l'Idealità di un Sistema Tecnico? Essa è il rapporto tra la somma di tutti i benefici percepiti relativi al sistema e la somma di tutti gli effetti dannosi percepiti. Caratteristica peculiare del TRIZ è quella di immaginare come punto di partenza per il processo di risoluzione del problema la **Migliore** delle **Soluzioni Possibili** (cioè il **Risultato più Desiderabile**) e muoversi da questo punto di partenza ideale verso soluzioni sempre meno ideali ma più attuabili.

Si ottiene così l'**IFR** (Ideal Final Result), cioè il **Risultato Finale Ideale**, ovvero un prodotto finale corredato di tutte le caratteristiche tecniche possibili.

Precisiamo che le **Risorse** sono tutto ciò che si trova all'interno del sistema (o attorno ad esso) ma non è ancora impiegato o non lo è al massimo delle sue potenzialità e quindi può ancora essere sfruttato. Le Risorse possono essere i materiali, le interazioni funzionali, l'energia, il tempo, lo spazio, le informazioni, i segnali, etc.

Oltre alle due precedenti leggi di evoluzione (Integrazione e Idealità), Altshuller scoprì altre sei leggi di evoluzione dei Sistemi Tecnici (per un totale di otto) di cui accenneremo solamente l'esistenza in quanto le due precedenti leggi sono quelle più importanti:

- 1.3 - La Legge di conduttività dell'energia
- 1.4 - La Legge di coordinamento dei ritmi tra le parti del sistema
- 1.5 - La Legge di non uniformità di sviluppo delle parti del sistema
- 1.6 - La Legge di transizione al Super-System
- 1.7 - La Legge di transizione dal Macro al micro livello
- 1.8 - La Legge di incremento del grado S-Field

### 4.2.1 Le Invenzioni che segnano una svolta epocale sono quelle che non accettano il Compromesso per risolvere le Contraddizioni.

Questo principio della metodologia TRIZ ci indica una strada molto importante per ottenere delle soluzioni inventive di rilievo, infatti quando siamo di fronte a un problema o a un prodotto innovativo da sviluppare, vederne le sue contraddizioni, ovvero vederne i problemi da risolvere in

termini di contraddizioni, ci indicherà la strada giusta di sviluppo della soluzione; essa non dovrà essere il miglior compromesso possibile ma dovrà essere quella che risolverà la contraddizione stessa.

Le **Contraddizioni** possono essere sia **Tecniche** che **Fisiche**. Una **Contraddizione Tecnica** è definita come una situazione in cui il miglioramento di una certa caratteristica tecnica comporta il deterioramento di un'altra caratteristica all'interno dello stesso Sistema Tecnico.

Una **Contraddizione Fisica** invece è definita come una situazione in cui si desidera che una certa caratteristica assuma contemporaneamente due valori totalmente opposti; questo accade ad esempio con la temperatura di una tazzina di caffè: da un lato si vorrebbe la temperatura della tazzina alta per mantenere caldo il caffè da bere, dall'altro lato si vorrebbe la temperatura della tazzina bassa per non scottarsi quando la si afferra.

Nel momento in cui si riesce a formulare un problema inventivo in termini di contraddizione tecnica o fisica allora è sicuramente possibile superare il problema in modo innovativo. Se non c'è una contraddizione allora non c'è neppure un problema inventivo e pertanto il problema non è un problema che possa essere risolto attraverso la metodologia TRIZ

#### 4.2.2 Contraddizioni uguali, portano a Percorsi Solutivi uguali – Il Modello a Collina

Il significato di questo principio del TRIZ è che se si trova una certa contraddizione in un problema inventivo allora si possono osservare sistemi tecnici differenti da quello che si sta studiando ma che hanno superato una contraddizione analoga ed utilizzare la medesima soluzione o una simile per la soluzione del problema di partenza.

Questo è possibile in quanto qualsiasi problema tecnico reale può essere ricondotto, attraverso un **processo di astrazione**, ad un modello teorico generale ed i processi logici di risoluzione possono essere raggruppati in un **numero finito di principi risolutivi generali**.

Esiste un modello grafico nell'analisi TRIZ, chiamato "**Modello a Collina**", che riassume questo concetto (vedi fig.41). Esso ci dice che quando si procede alla soluzione di un problema concreto, invece di cercare direttamente una soluzione concreta, bisogna fare una **operazione di astrazione del problema**, cioè bisogna utilizzare dei modelli che permettano di rappresentare in astratto quella che è la realtà concreta. In seguito, è possibile formulare in maniera astratta il problema e poi trovare un modello astratto di soluzione.

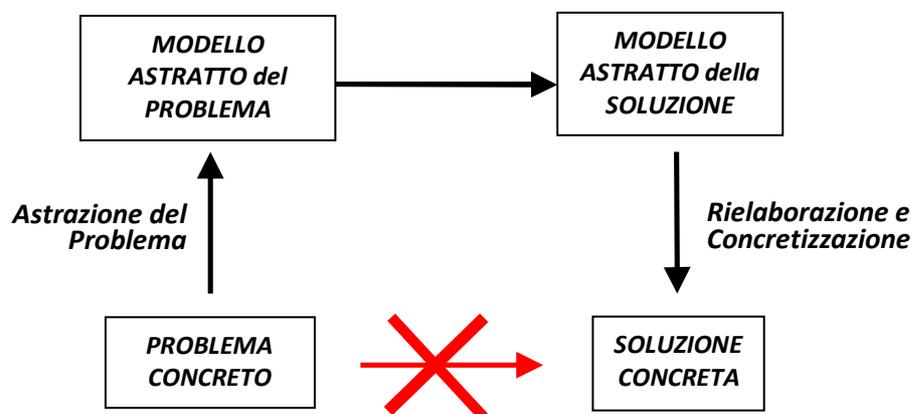


Fig.41 Modello a Collina

A questo punto è necessaria una operazione di elaborazione della soluzione astratta al fine di renderla concreta.

Questo processo viene fatto ad esempio tutte le volte che si risolve una struttura schematizzandola, oppure tutte le volte che si progetta un impianto pneumatico o un circuito elettrico schematizzandoli; la schematizzazione della struttura oppure dell'impianto pneumatico o elettrico non è altro che un processo di astrazione del problema concreto al fine di ottenerne un modello astratto. Sarà poi su questo modello che si troveranno le soluzioni astratte del problema che poi dovranno essere rielaborate e rese concrete.

### 4.3 L'ENV-model

L'ENV-model è uno dei **modelli rappresentativi** utilizzati dal TRIZ per descrivere quali sono gli elementi appartenenti ad un determinato Problema Inventivo (vedi rappresentazione grafica dell'ENV-model in fig. 42).

Le tre Funzioni Principali dell'ENV-model sono:

- 1) Descrivere gli elementi coinvolti nel Problema Inventivo
- 2) Rendere “trasparenti” i collegamenti tra i modelli teorici e gli strumenti pratici del TRIZ
- 3) Semplificare l'integrazione del TRIZ con altri strumenti di progettazione come il QFD

ENV sta per:

E = Elemento (Element)

N= Nome della proprietà (Name Feature)

V= Valore della proprietà (Value Feature)

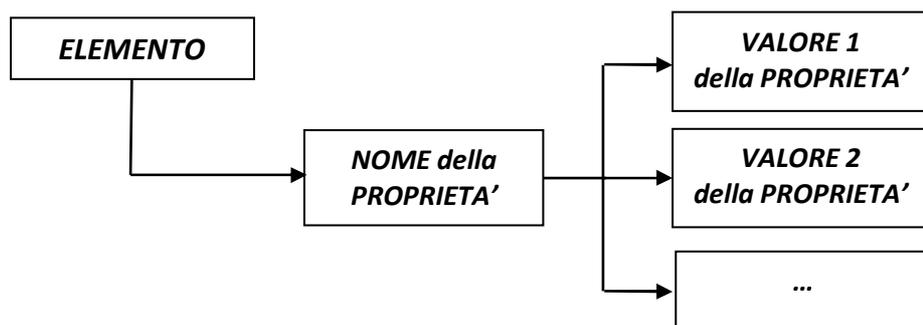


Fig.42 rappresentazione grafica dell'ENV-model

L'ENV-model porta dei **vantaggi** a livello di **formalizzazione** delle idee durante la risoluzione di problemi complessi; in particolare è molto utile nel momento in cui è in grado di mostrare quali parametri, appartenenti a quali elementi, possono assumere valori diversi e dare così origine ad una Contraddizione. Infatti l'individuazione di un parametro è utile per la Soluzione del Problema solamente se anche altri oggetti del sistema tecnico che si sta studiando sono caratterizzati da quel parametro e possono assumere valori diversi per esso.

Un esempio di utilizzo dell'ENV-model può essere quello della descrizione di un albero meccanico come mostrato in fig.43.

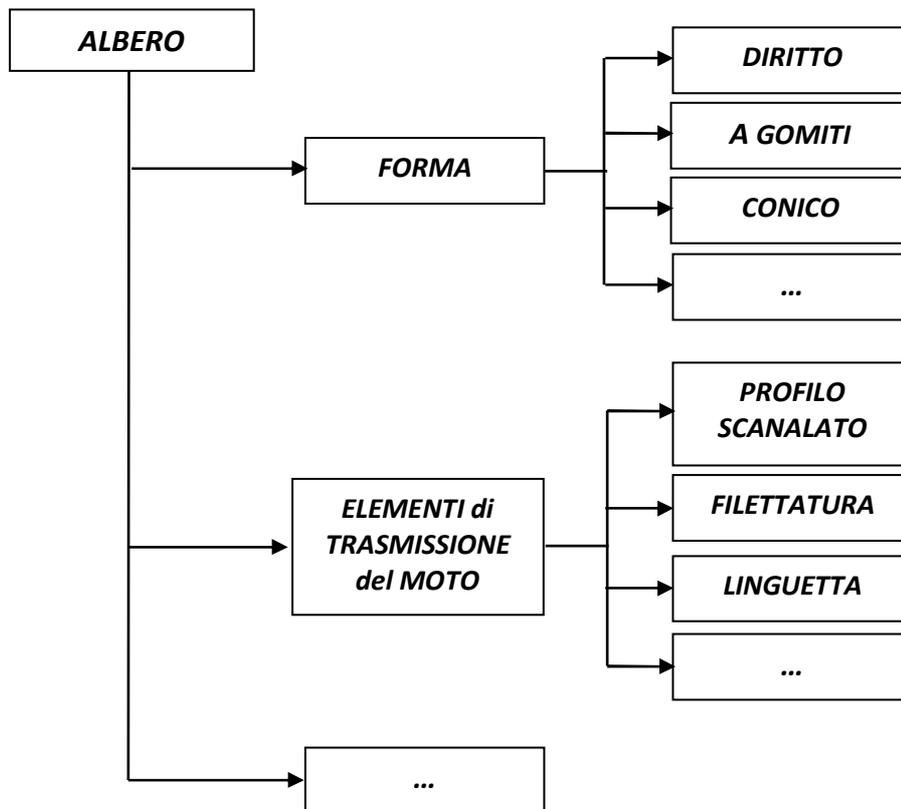


Fig.43 ENV-model di un albero meccanico

#### 4.4 Il Processo di Risoluzione dei Problemi Inventivi

Vediamo ora come si articola il **Processo di Risoluzione dei Problemi Inventivi** secondo la metodologia TRIZ. Il Processo di Risoluzione si compone di quattro passaggi successivi e può essere rappresentato graficamente attraverso il «Modello a Collina» così come è stato schematizzato in fig.44.

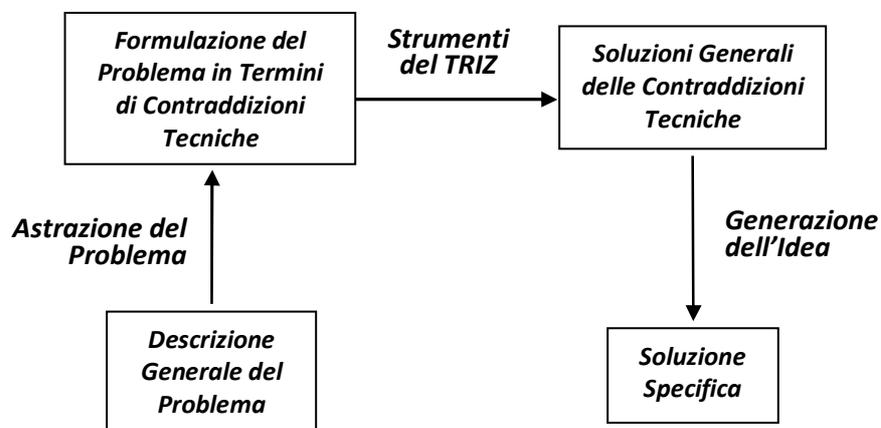


Fig.44 Processo di Risoluzione secondo la metodologia TRIZ

Il **Primo Passo** del Processo di Risoluzione dei Problemi Inventivi nella metodologia TRIZ è quello di sviluppare **una descrizione** la più **accurata** possibile **del Problema** da risolvere. Questa fase è molto importante, perché un problema ben definito è un problema risolto a metà. All'inizio del processo di risoluzione è quindi necessario ottenere una definizione accurata del problema da risolvere al fine di avere una comprensione ottimale del sistema in cui si sta operando e in cui è presente il problema.

Sovente, quando si deve risolvere un problema inventivo, potrebbe essere necessario migliorare una o più caratteristiche tecniche del Sistema che si deve progettare, ma questo potrebbe portare a delle **contraddizioni tecniche**, ovvero ad una situazione in cui il miglioramento di una caratteristica tecnica porta al peggioramento di un'altra caratteristica all'interno dello stesso Sistema Tecnico. Secondo la teoria del TRIZ, la contraddizione è l'ostacolo più importante che limita l'evoluzione di un sistema tecnico, di conseguenza, l'evoluzione dei sistemi tecnici è fortemente influenzata dalla risoluzione delle contraddizioni.

Il **Secondo Passo** del Processo di Risoluzione dei Problemi Inventivi è quello di astrarre il più possibile il problema al fine di **ottenere una Formulazione del Problema in termini di Contraddizioni Tecniche**. Più accurata sarà la descrizione del problema in termini di contraddizioni tecniche e più efficace sarà la soluzione trovata. Il modo più semplice per cercare di capire quali sono le caratteristiche in conflitto all'interno di un problema inventivo è quello di porre una serie di domande; ad esempio, se miglioro una delle caratteristiche tecniche posso chiedermi

- ✓ Cosa migliora?
- ✓ Cosa peggiora?
- ✓ Quale aspetto del Sistema Tecnico migliora?
- ✓ Quale aspetto del Sistema Tecnico peggiora?

La figura 45 mostra un **Modello Generale di Formulazione del Problema in termini di Contraddizione Tecnica**. La contraddizione fisica descritta nel modello nasce dal fatto di aver variato uno dei parametri di Controllo del Sistema, cioè uno dei parametri il cui miglioramento o peggioramento potrebbe portare ad un miglioramento o peggioramento del prodotto, potrebbe essere ad esempio la variazione della potenza del motore nel caso di una bici elettrica. Questa variazione del parametro di controllo potrebbe portare ad una o più contraddizioni tecniche, infatti se la potenza del motore divenisse elevata allora la velocità della bici aumenterebbe ma la sua autonomia peggiorerebbe a causa di un assorbimento maggiore di corrente elettrica; al contrario se la potenza del motore divenisse bassa allora l'autonomia della bici aumenterebbe per via di un minore assorbimento della corrente elettrica ma la velocità peggiorerebbe.

Siamo così giunti a formulare una parte del problema in termini di contraddizioni tecniche, ma tutte le parti del problema dovrebbero essere formulate in questo modo.



La Matrice di Altshuller, detta anche Matrice delle Contraddizioni, contiene nelle 39 righe i parametri che variando migliorano la contraddizione tecnica, mentre nelle 39 colonne contiene gli stessi parametri che variando peggiorano la contraddizione tecnica (vedi fig. 47).

		1	2	3	4	5
1	Peso dell'oggetto in movimento	+		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34
2	Peso dell'oggetto fermo		+		10, 1, 29, 35	
3	Lunghezza dell'oggetto in movimento	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4
4	Lunghezza dell'oggetto in fermo		35, 28, 40, 29		+	
5	Area dell'oggetto in movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+

Fig.47 Porzione della Matrice delle Contraddizioni

Descrivendo il problema inventivo in termini di contraddizioni tecniche, dobbiamo guardare alla Matrice di Altshuller e individuare, tra i 39 parametri tecnici, quelli che fanno peggiorare la contraddizione considerata e quelli che la fanno migliorare. Trovando le **intersezioni di riga e colonna** di tali parametri sulla Matrice possiamo **identificare i principi inventivi** che possono risolvere le contraddizioni tecniche e che possono indicare dei percorsi di soluzione e/o generare delle idee risolutive.

		1	2	3	4	5
1	Peso dell'oggetto in movimento	+		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34
2	Peso dell'oggetto fermo		+		10, 1, 29, 35	
3	Lunghezza dell'oggetto in movimento	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4
4	Lunghezza dell'oggetto in fermo		35, 28, 40, 29		+	
5	Area dell'oggetto in movimento	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+

Fig.48 Individuazione dei Principi Inventivi di Soluzione attraverso Matrice delle Contraddizioni

In figura 48, è riportato un problema inventivo nel quale, se da una parte l'area dell'oggetto in movimento migliora, d'altra la lunghezza dell'oggetto in movimento peggiora; l'intersezione della riga e della colonna sulla Matrice delle Contraddizioni di tali parametri, porta ad individuare come principi inventivi che possono risolvere le contraddizioni tecniche o che possono indicare dei percorsi risolutivi, i principi 14, 25, 28,4 (l'ordine con cui appaiono non è casuale ma è legato alla frequenza di soluzioni che tali principi consentono).

I Principi inventivi 14, 25, 28,4 (vedi la loro descrizione sotto) devono essere verificati e approfonditi dal progettista, il quale trae da essi gli spunti e l'idea iniziale di una possibile soluzione.

Osserviamo infine che non è detto che tutti e quattro i principi individuati (14, 25, 28,4) possano portare, all'interno del sistema in cui sono inseriti, a delle soluzioni certe; alcuni potrebbero farlo ma altri potrebbero non portare ad alcuna soluzione a causa della particolare situazione in cui si trova il Sistema Tecnico.

I 39 parametri tecnici della Matrice di Altshuller non sono gli unici parametri che possono essere utilizzati nella ricerca di una soluzione della contraddizione, ma sono certamente quelli che vengono utilizzati più spesso dagli inventori capaci di ottenere soluzioni rivoluzionarie e che non si accontentano di una semplice soluzione di compromesso.

Riportiamo di seguito l'elenco dei **39 Parametri Tecnici** della Matrice di Altshuller:

1. Peso dell'oggetto in movimento
2. Peso dell'oggetto fermo
3. Lunghezza dell'oggetto in movimento
4. Lunghezza dell'oggetto fermo
5. Area dell'oggetto in movimento
6. Area dell'oggetto fermo
7. Volume dell'oggetto in movimento
8. Volume dell'oggetto fermo
9. Velocità
10. Forza come Intensità
11. Sollecitazione o Pressione
12. Forma
13. La stabilità della composizione o dei componenti dell'oggetto
14. Forza
15. Durata d'azione dell'oggetto in movimento
16. Durata d'azione dell'oggetto fermo
17. Temperatura
18. Intensità di illuminazione
19. Uso di energia dell'oggetto in movimento
20. Uso di energia dell'oggetto fermo
21. Energia, Potenza
22. Perdita di Energia, di Potenza
23. Perdita di Sostanza
24. Perdita di Informazione
25. Perdita di Tempo
26. Quantità di sostanza, di materia

27. Affidabilità
28. Precisione di Misura
29. Precisione di Fabbricazione
30. Fattori Nocivi agli Oggetti Colpiti
31. Fattori Nocivi agli Oggetti Generati
32. Facilità di Fabbricazione
33. Facilità di Operazione, di Utilizzo
34. Facilità di Riparazione
35. Adattabilità o Versatilità
36. Complessità del Dispositivo
37. Difficoltà di individuare e misurare
38. Estensione o Livello dell'automazione
39. Produttività

I 40 principi inventivi sono implementati nella Matrice di Altshuller attraverso dei numeri che vanno da 1 a 40 e corrispondono, ciascuno, ad una soluzione generale che può dare al progettista lo spunto per superare la contraddizione tecnica di fronte alla quale si viene a trovare.

Riportiamo di seguito l'elenco dei **40 Principi Inventivi** della Matrice di Altshuller:

1. Segmentazione
2. Estrazione
3. Qualità locale
4. Asimmetria
5. Incorporare, Combinare, Consolidare
6. Universalità, Multifunzionalità
7. Inserimento all'interno, Scatola cinese
8. Contrappeso, Levitazione (Anti-peso)
9. Anti-azione preliminare, Anti-effetto preliminare (Contro-Azione precedente)
10. Azione Preventiva, Azione Preliminare (Azione Precedente)
11. Attenuare in anticipo, Anticipare mezzi di emergenza (Ammortizzamento in Anticipo)
12. Equipotenzialità
13. Fare al Contrario, Invertire
14. Sfericità, Curvilinearità, Sferoidalità
15. Dinamicità
16. Azione Incompleta, Azione Parziale, Azione Ridondante, Azione Eccessiva
17. Passaggio ad un'altra dimensione
18. Vibrazioni Meccaniche
19. Azione Periodica, Azione Ripetuta
20. Continuità dell'azione utile, Azione Continuativa
21. Saltare, Attraversare velocemente, Gettarsi da una parte all'altra
22. Trasformare i potenziali danni in opportunità
23. Feedback (Reazione)
24. Mediatore, Intermediario, Ausiliario
25. Self-service, Self-organization

26. Copia, Simula, Utilizzo di Copie, Utilizzo di Simulacri, Utilizzo di Immagini
27. Utilizzare oggetti economici e di breve durata, Smaltire
28. Sostituzione dei sistemi meccanici, Meccanismi sostitutivi
29. Pneumatica ed Idraulica, Costruzioni Pneumatiche e Idrauliche
30. Uso di Gusci e Membrane flessibili o di Film sottili
31. Uso di Materiali Porosi
32. Cambiamento del colore o delle proprietà ottiche
33. Omogeneità
34. Eliminare, Scartare, Scaricare, Recuperare, Rigenerare, le parti
35. Cambiare, Trasformare, i parametri, le proprietà
36. Transizione di fase
37. Dilatazione termica, Espansione termica
38. Ossidazione accelerata, Utilizzo di ossidatori
39. Ambiente Inerte, Atmosfera Inerte
40. Materiali Compositi

Il **Quarto e ultimo Passo** è quello di tradurre la soluzione di natura generale in una soluzione concreta e specifica. Se ad esempio il principio inventivo generale che risulta dall'incrocio delle righe e delle colonne è il 40, cioè Materiali Compositi, allora il progettista dovrebbe prendere spunto da questa soluzione di tipo generale per superare la contraddizione tecnica di fronte alla quale si trova. Se tale contraddizione tecnica fosse ad esempio quella di avere un tavolo robusto ma allo stesso tempo leggero, essa potrebbe essere superata applicando la soluzione generale, Materiali Compositi, che rielaborata e concretizzata potrebbe diventare: costruisco un tavolo in fibra di carbonio (in questo modo è leggero e allo stesso tempo robusto).

Alla luce di quanto detto, possiamo trasformare il Modello a Collina di fig. 44 nel seguente schema di fig. 49, il quale ci fornisce una rappresentazione grafica ancora più dettagliata dei principi che stanno alla base della soluzione dei problemi inventivi attraverso la metodologia TRIZ.

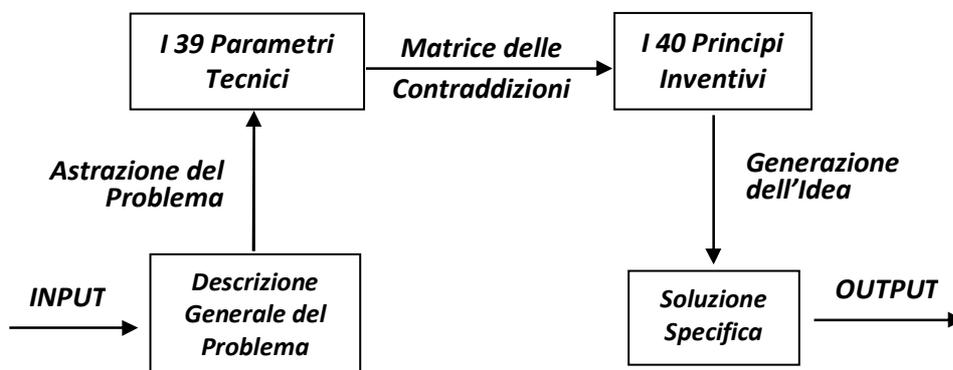


Fig.49 Processo di Risoluzione secondo la metodologia TRIZ

## 5 Metodologia integrata di progettazione basata su QFD e TRIZ

Passiamo ora all'analisi di una metodologia integrata di progettazione che prenda in considerazione sia la metodologia QFD che la metodologia TRIZ.

### 5.1 Perché una Metodologia integrata di progettazione QFD e TRIZ?

E' stato riscontrato dai progettisti, nella loro pratica progettuale, che l'applicazione della metodologia QFD nella progettazione di prodotti innovativi, potrebbe portare a dei "problemi inventivi", cioè a dei problemi che richiedono un'attività inventiva, in quanto non esistono o non sono conosciute dal progettista, delle soluzioni preesistenti in grado di superare il problema inventivo incontrato.

Se la difficoltà di ottenere una soluzione al problema fosse molto elevata, il progettista potrebbe escludere a priori dei percorsi solutivi molto interessanti e promettenti, impoverendo la ricerca di soluzioni innovative a favore di soluzioni più facilmente abordabili ma in grado di attribuire al prodotto uno scarso grado di innovazione.

Ci chiediamo allora come sia possibile risolvere questo problema? Ebbene, il problema è risolvibile applicando la Metodologia TRIZ in quelle specifiche fasi del metodo QFD e del Progetto Concettuale che presentano dei problemi inventivi.

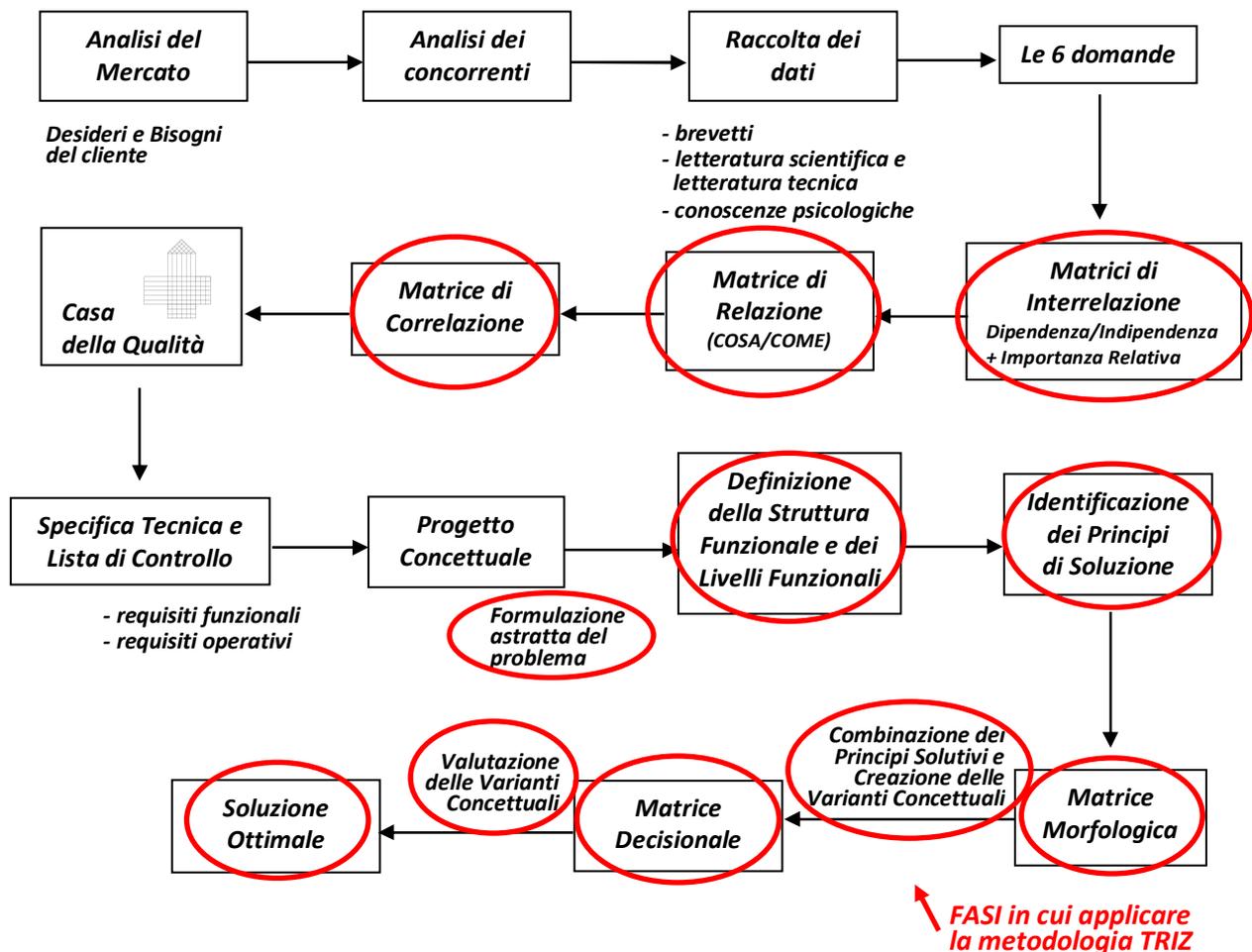


Fig.50 Fasi di possibile applicazione della metodologia TRIZ

Se consideriamo nuovamente il percorso progettuale che parte dalla Analisi del Mercato e giunge fino alla Soluzione Ottimale di un prodotto innovativo attraverso la metodologia QFD e il Progetto Concettuale, possiamo evidenziare le fasi in cui viene richiesta una attività inventiva e che potrebbero essere critiche per il progettista: è proprio in tali fasi che applicheremo il TRIZ per superare tali criticità (vedi fig. 50).

E' possibile rappresentare graficamente l'integrazione dei metodi QFD e TRIZ per mezzo del seguente schema in cui abbiamo in ingresso il metodo QFD a cui viene applicato come integrazione il metodo TRIZ e in uscita la Soluzione al problema inventivo (vedi fig.51):

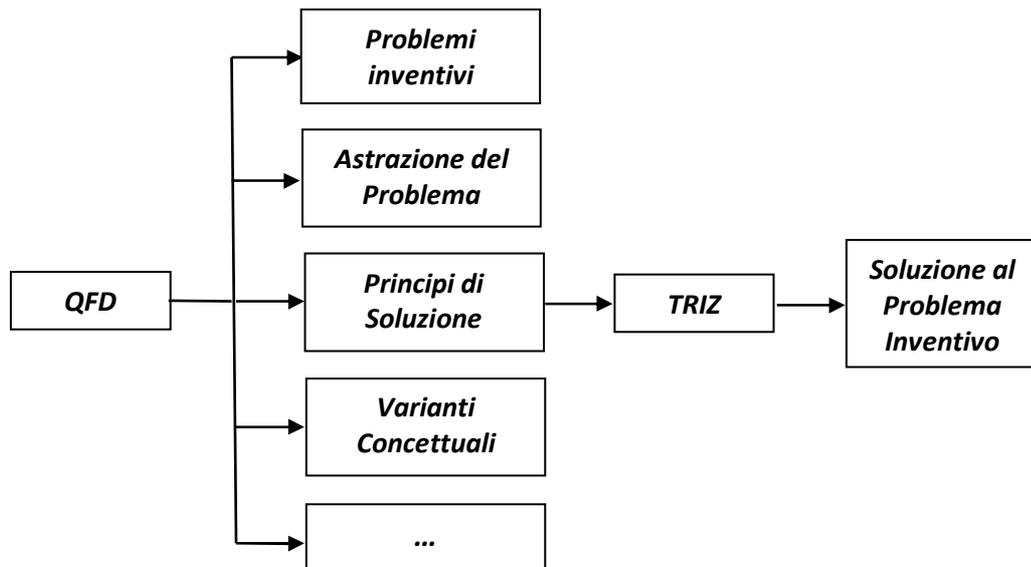


Fig.51 Integrazione dei metodi QFD e TRIZ

La metodologia integrata di progettazione basata su QFD e TRIZ deve anche tener conto del fatto che potrebbe essere applicata nella maniera inversa, ovvero avendo in input il metodo TRIZ a cui viene applicato il metodo QFD e in output una Architettura ottimizzata di prodotto. Questo risulta possibile se pensiamo per ipotesi che si verifichi un caso come quello precedente, in cui i Principi inventivi risultanti siano più di uno (ad esempio 14, 25, 28,4) e questi portino ad ottenere Soluzioni Specifiche diverse e tutte valide. La domanda sarà: quale Soluzione Ottimale il progettista dovrà scegliere? E' proprio in questa fase del processo solutivo che deve entrare in gioco la metodologia QFD indicando al progettista quella che è l'Architettura Ottimale per il Sistema Tecnico.

Possiamo rappresentare graficamente l'applicazione inversa dell'integrazione dei metodi QFD e TRIZ per mezzo dello schema di fig. 52.

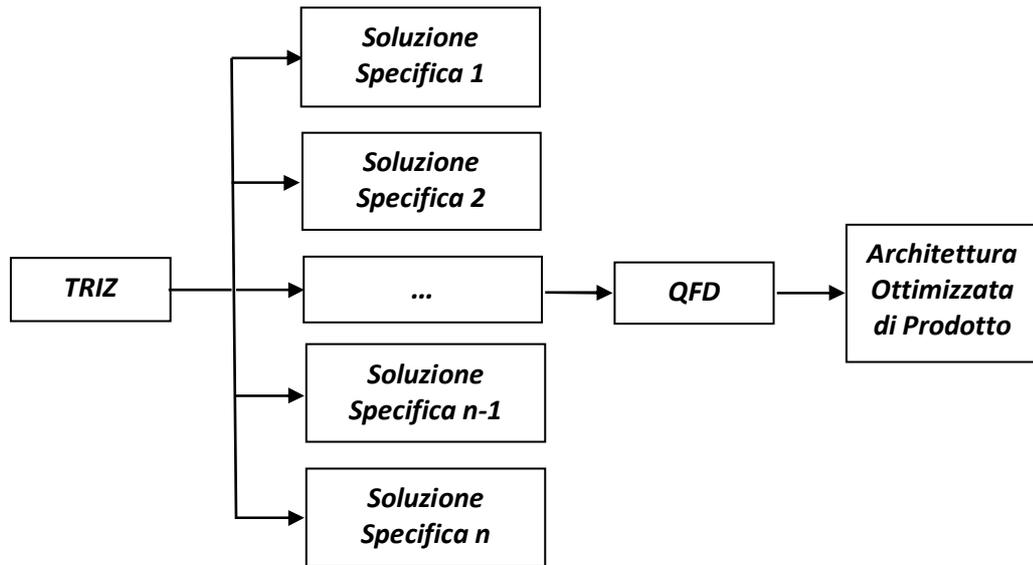


Fig.52 Integrazione dei metodi TRIZ e QFD

## 6 Applicazioni della Metodologia integrata di progettazione basata su QFD e TRIZ

Considereremo ora delle applicazioni di tipo industriale della Metodologia integrata di progettazione basata su QFD e TRIZ; in particolare ci occuperemo di stampi aperti per laminazione e della progettazione di un hoverboard innovativo.

### 6.1 Produzione di Stampi aperti per laminazione

In questa applicazione sono stati utilizzati i metodi integrati QDF e TRIZ al fine di sviluppare una metodologia di produzione di stampi aperti per laminazione mediante una strategia innovativa: la produzione ibrida. Tale metodologia può ridurre i tempi di produzione, l'utilizzo del materiale e dell'energia e la quantità di prodotti di scarto; tutto ciò è stato reso possibile impiegando tecniche additive e sottrattive opportunamente combinate.

Lo stampaggio effettuato attraverso stampi aperti è un processo adatto a pezzi che richiedono un'ampia gamma di dimensioni, forme grandi e complesse e un basso volume produttivo, al massimo di alcune migliaia di pezzi all'anno. In questo processo, le materie prime (che sono le resine e i rinforzi in fibra) vengono depositate su uno stampo attraverso diversi processi, tra cui la deposizione manuale delle fibre a secco, la deposizione della resina liquida che può essere fatta a mano con un pennello (hand lay up) o a spruzzo tramite un diffusore spray (spray lay up), la pressatura della resina e della fibra attraverso un rullo e la loro fusione. Il tutto poi viene esposto all'aria fino al completo indurimento del pezzo. Il processo di laminazione con gli stampi aperti è rappresentato graficamente in fig. 53:

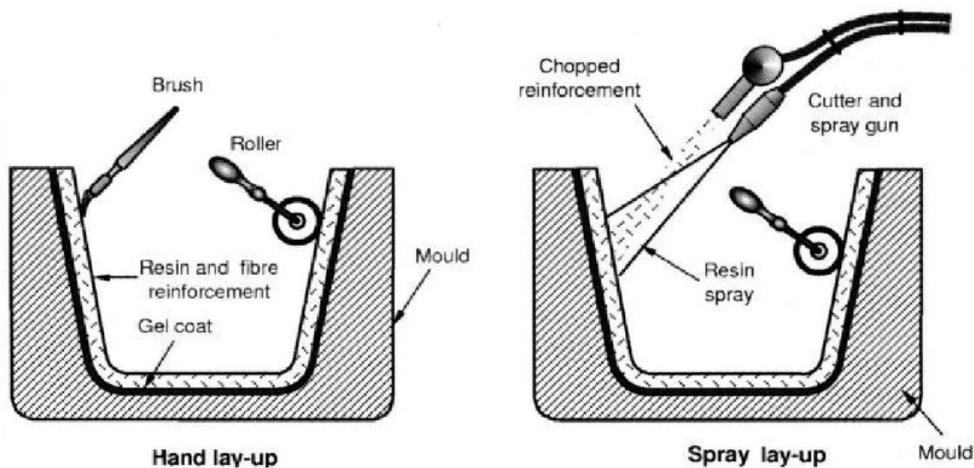


Fig.53 Laminazione con stampi aperti

Questa tecnica consente un rapido ciclo di sviluppo del prodotto perché il processo di fabbricazione degli stampi è semplice e relativamente a basso costo. D'altra parte, tutti i processi con stampi aperti sono manuali, lenti e richiedono molta manodopera per la preparazione dello stampo mediante un modello. Lo stampo dovrebbe essere il più preciso possibile e produrre il prodotto finito secondo le specifiche di progettazione. Inoltre, l'intero processo non risulta efficiente in termini di costi e pericoloso in termini di emissioni nocive perché nei processi con stampo aperto il composto organico volatile (COV) è piuttosto elevato, come riportato dall' U.S. Environmental Protection Agency. 1987–1993 Toxics Release Inventory; EPA-749/C-95-004 (NTIS PB95-503793); U.S. Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics: Washington, DC, (1995). Questo è il motivo per cui, al fine di migliorare la qualità dell'aria respirata dall'operatore, il processo con stampo aperto è stato convertito in un processo con stampo chiuso che consente la fabbricazione di parti con geometria complessa e tiene conto sia della protezione dell'operatore che di quella dell'ambiente, ma come contro partita richiede stampi molto più costosi.

L'obiettivo è stato quindi quello di proporre una via alternativa alla produzione degli stampi aperti che permettesse non solo l'economicità del processo ma anche il rispetto dell'ambiente e della salute dell'operatore. Le strategie di progettazione tradizionali potrebbero essere inadeguate per soddisfare questi due requisiti, pertanto il problema è stato affrontato attraverso una analisi QFD che ha permesso di tradurre i requisiti di processo in attributi di progettazione; questo ha portato alla nascita di alcune contraddizioni tecniche che sono state risolte attraverso una analisi TRIZ.

### 6.1.1. Produzione di stampi aperti: l'approccio QFD – le sei domande

Seguendo quello che è l'approccio della metodologia QFD, inizialmente si pongono le sei domande, in quanto esse aiutano il progettista ad estrapolare quei requisiti che devono essere sicuramente inseriti nell'oggetto da progettare (vedi fig.54)

QFD – le sei domande		
1	CHI	CHI utilizza il nostro prodotto?
2	COSA	a COSA serve il prodotto?
3	DOVE	DOVE viene utilizzato?
4	QUANDO	QUANDO viene utilizzato?
5	PERCHE'	PERCHÉ è utilizzato?
6	COME	COME viene utilizzato?

Fig.54 QFD – le sei domande

Applicando quindi lo strumento delle sei domande al caso della produzione degli stampi aperti, si è in grado di fornire le seguenti risposte (ottenute attraverso una discussione in un team di progettisti), al fine di scoprire quali devono essere i requisiti da analizzare:

1) **Chi:** chi usa lo stampo aperto? chi produce lo stampo aperto?

Lo stampo aperto viene utilizzato dalle aziende produttrici di componenti “a guscio”.

Lo stampo aperto è prodotto attraverso dei processi industriali.

Requisiti individuati (dopo la discussione): INDUSTRIABILITÀ; LAVORABILITÀ; AFFIDABILITÀ.

2) **Cosa:** a che cosa serve lo stampo aperto?

Lo stampo aperto serve per produrre componenti industriali.

Requisiti individuati (dopo la discussione): INDUSTRIABILITÀ; LAVORABILITÀ; AFFIDABILITÀ.

3) **Dove:** dove viene prodotto lo stampo aperto, dove viene utilizzato lo stampo aperto?

Lo stampo aperto viene prodotto all'interno dei reparti di produzione di stampi industriali.

Lo stampo aperto viene utilizzato nella produzione industriale.

Requisiti individuati (dopo la discussione): INDUSTRIABILITÀ; RESISTENZA STRUTTURALE; RESISTENZA TERMICA.

4) **Quando:** quando viene prodotto lo stampo aperto? Quando risulta disponibile per il cliente?

Lo stampo aperto viene prodotto nel momento in cui c'è una richiesta del cliente.

Lo stampo aperto di solito è disponibile non prima di quattro/sei mesi.

Requisiti individuati (dopo la discussione): PERSONALIZZAZIONE; VELOCITÀ DI PRODUZIONE; PRECISIONE.

5) **Perché:** perché viene utilizzato lo stampo aperto?

Lo stampo aperto è usato per dare una forma ai prodotti; e spesso per dare una forma complessa.

Requisiti individuati (dopo la discussione): FORMA COMPLESSA; PERSONALIZZAZIONE.

6) **Come:** come viene utilizzato lo stampo aperto?

Lo stampo aperto può essere composto da più parti.

Lo stampo aperto può essere utilizzato abbinato a una macchina.

Requisiti individuati (dopo la discussione): VELOCITÀ DI PRODUZIONE; RESISTENZA STRUTTURALE.

I Requisiti, ottenuti dalle sei domande, che il processo di produzione degli stampi aperti deve possedere sono riassunti in figura 55:

QFD – le sei domande		
1	CHI	INDUSTRIABILITÀ; LAVORABILITÀ; AFFIDABILITÀ
2	COSA	INDUSTRIABILITÀ; LAVORABILITÀ; AFFIDABILITÀ
3	DOVE	INDUSTRIABILITÀ; RESISTENZA STRUTTURALE; RESISTENZA TERMICA.
4	QUANDO	PERSONALIZZAZIONE; VELOCITÀ DI PRODUZIONE; PRECISIONE.
5	PERCHE’	FORMA COMPLESSA; PERSONALIZZAZIONE.
6	COME	VELOCITÀ DI PRODUZIONE; RESISTENZA STRUTTURALE.

Fig.55 Requisiti ottenuti dalle sei domande

Riassumendo, le caratteristiche più importanti che lo stampo aperto deve possedere sono nove:

1. Industriabilità
2. Resistenza strutturale
3. Personalizzazione
4. Velocità di produzione
5. Lavorabilità
6. Precisione
7. Resistenza termica
8. Modellatura complessa
9. Affidabilità.

### 6.1.2 Produzione di stampi aperti: le Matrici di Interrelazione

Le matrici di interrelazione, del cui utilizzo abbiamo parlato nel capitolo dedicato all’analisi del metodo QFD, sono mostrate di seguito nella fig.56 (Matrice di Dipendenza/Indipendenza ) e nella fig.57 (Matrice di Importanza relativa):

Per costruire la **Matrice di Dipendenza/Indipendenza** si riportano nelle righe e nelle colonne di una matrice le caratteristiche più importanti che il processo di produzione degli stampi dovrà avere e che sono state individuate attraverso le sei domande del QFD (nel nostro caso le caratteristiche più importanti sono nove). Si determinano quindi le relazioni di causa ed effetto tra le di-

verse caratteristiche, ovvero di dipendenza e indipendenza, considerando come ingresso ciascun elemento di colonna (CAUSA) e come uscita l'elemento corrispondente della riga (EFFETTO) e si ottiene una valutazione che si basa sui seguenti criteri di stima; si attribuisce il valore:

- 0 se la dipendenza fra i requisiti è nulla
- 1 se la dipendenza fra i requisiti è debole
- 3 se la dipendenza fra i requisiti è media
- 9 se la dipendenza fra i requisiti è forte

MATRICE di DIPENDENZA/INDIPENDENZA	Industriabilità	Resistenza Strutturale	Personalizzazione	Velocità di Produzione	Lavorabilità	Precisione	Resistenza Termica	Modellatura compless	Affidabilità	Totale (Dipendenza)
Industriabilità		1	9	9	1	3	1	3	9	36
Resistenza Strutturale	0		1	1	3	3	1	3	3	15
Personalizzazione	3	9		3	9	3	1	9	1	38
Velocità di Produzione	9	1	9		9	9	3	9	3	52
Lavorabilità	3	1	3	1		1	9	1	1	20
Precisione	9	3	3	9	3		1	3	1	32
Resistenza Termica	0	3	1	3	1	1		0	1	
Modellatura complessa	9	9	3	3	3	3	1		3	
Affidabilità	9	9	3	3	1	3	3	3		34
Totale(Indipendenza)	42	36	32	32	30	26	20	31	22	271


  
**Requisiti più indipendenti**

Fig. 56 – Matrice di Dipendenza/Indipendenza

Dalla Matrice di Dipendenza/Indipendenza risulta che le caratteristiche più indipendenti sono l'INDUSTRIABILITA' e la RESISTENZA STRUTTURALE.

Per costruire la **Matrice di Importanza Relativa** si procede come nel caso precedente riportando nelle righe e nelle colonne di una matrice le caratteristiche più importanti che il processo di produzione degli stampi dovrà avere e che sono stati individuati attraverso le 6 domande del QFD. Si determina quindi l'importanza relativa (peso relativo) di ciascun requisito, uno rispetto all'altro, e in base ad essa si attribuiscono i valori 0, 1, e 2.

In particolare si attribuisce il valore:

- 1 se l'elemento di riga ha la stessa importanza dell'elemento in colonna
- 0 se l'elemento di riga ha importanza minore dell'elemento in colonna

2 se l'elemento di riga ha importanza maggiore dell'elemento in colonna.

Eseguendo le somme di tutte le righe si ottiene la colonna "Totale" nella quale si individua il requisito avente risultato più elevato. Si attribuisce il valore 10 alla caratteristica più importante ed in base al rapporto risultante tra il valore 10 e quello ottenuto dalla somma dei punteggi per la caratteristica più importante si ottengono i valori normalizzati di tutte le altre caratteristiche.

Confrontando i valori normalizzati delle caratteristiche del prodotto con il valore normalizzato del requisito più importante possiamo ottenere quelle che sono le caratteristiche più importanti su cui focalizzare lo sviluppo del nuovo processo di produzione di stampi aperti.

MATRICE di IMPORTANZA RELATIVA	Industriabilità	Resistenza Strutturale	Personalizzazione	Velocità di Produzione	Lavorabilità	Precisione	Resistenza Termica	Modellatura compless	Affidabilità	Totale (Importanza Relativa)	Importanza Relativa Normalizzata
Industriabilità	1	1	0	1	1	1	2	1	1	9	7,5
Resistenza Strutturale	1	1	1	2	1	1	2	1	1	11	9,2
Personalizzazione	2	1	1	1	1	1	2	1	2	12	10
Velocità di Produzione	1	0	1	1	0	1	2	1	2	9	7,5
Lavorabilità	1	1	1	2	1	0	1	1	1	9	7,5
Precisione	1	1	1	1	2	1	2	1	1	11	9,2
Resistenza Termica	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	1,7
Modellatura complessa	1	1	1	1	1	1	2	1	1	10	8,3
Affidabilità	1	1	0	0	1	1	2	1	1	8	6,7

Fig.57 – Matrice di Importanza Relativa

Dalla Matrice di Importanza Relativa risulta che le caratteristiche più importanti relativamente alle altre sono la RESISTENZA STRUTTURALE (già individuata con la matrice di Dipendenza / Indipendenza), la PERSONALIZZAZIONE e la PRECISIONE.

Dall'analisi di entrambe le matrici, i parametri su cui puntare lo sviluppo del processo di produzione degli stampi aperti sono definiti da:

1) Industriabilità - 2) Resistenza strutturale - 3) Personalizzazione - 4) Precisione

### 6.1.3 Produzione di stampi aperti: la Matrice Morfologica

I quattro parametri più importanti appena trovati (Industriabilità - Resistenza strutturale - Personalizzazione – Precisione), su cui puntare lo sviluppo del progetto, possono essere collegati tra loro attraverso la **Matrice Morfologica** in cui, per ogni requisito evidenziato dall'analisi precedente-

te, sono state proposte quattro possibili soluzioni tecniche. Combinando le soluzioni tecniche relative alle quattro caratteristiche principali che il prodotto deve possedere, sono state ottenute 3 varianti concettuali: Variante Concettuale 1, Variante Concettuale 2, Variante Concettuale 3 (vedi fig.58).

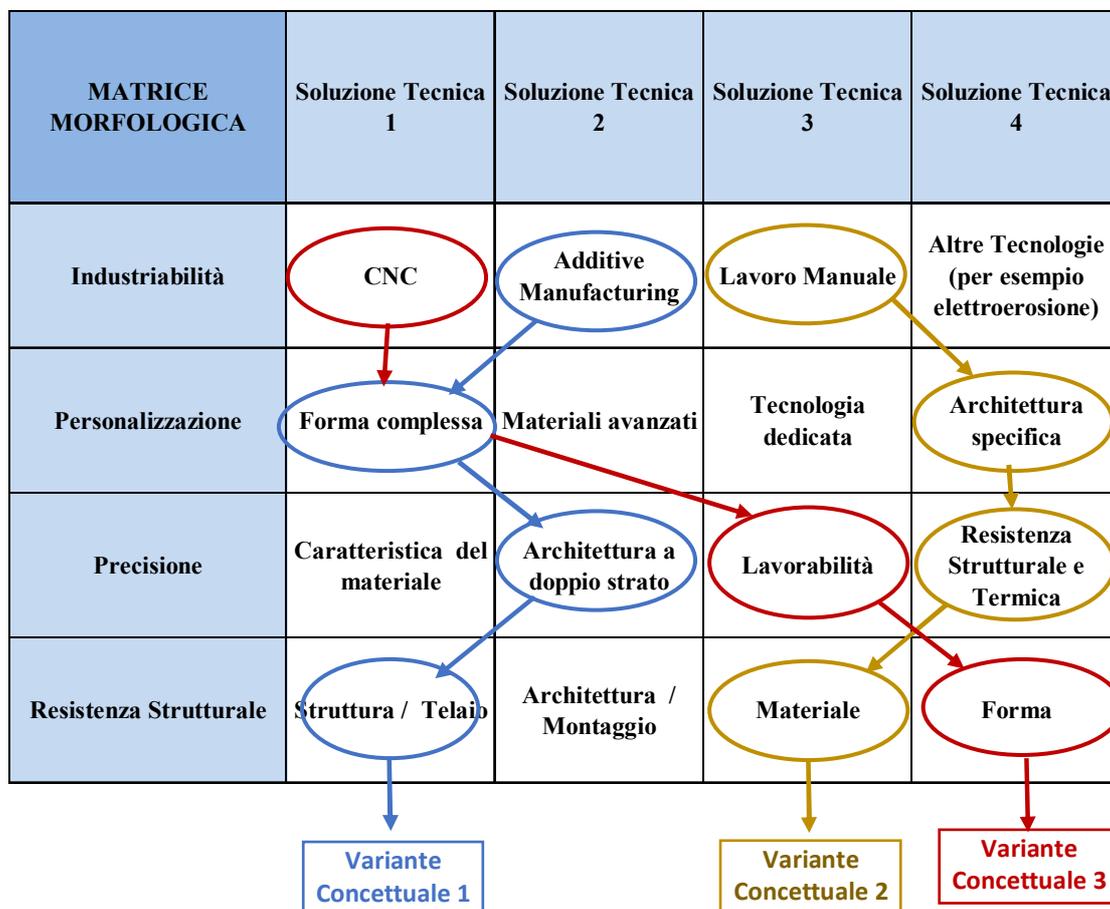


Fig. 58 Matrice Morfologica

Le varianti concettuali possono essere valutate attraverso la **Matrice Decisionale** (vedi fig. 59). Le valutazioni delle varianti concettuali vengono eseguite rispetto ai seguenti controlli:

- ✓ Soddisfa i requisiti della Specifica Tecnica?
- ✓ I Principi di Soluzione utilizzati sono Compatibili tra di loro?
- ✓ La Combinazione dei Principi di Soluzione è realizzabile?
- ✓ Rientra nei costi ammissibili?
- ✓ Incorpora misure di sicurezza dirette, oppure la sicurezza è da rivedere?
- ✓ E' compatibile con la tecnologia aziendale, cioè rientra nel know-how produttivo aziendale?
- ✓ C'è una adeguata informazione sui Principi di Soluzione e sulla loro Combinazione oppure la Soluzione risultante è completamente innovativa?

MATRICE DECISIONALE	Soddisfa le richieste della Specifica Tecnica ?	I Principi di Soluzione Utilizzati sono Compatibili tra loro ?	La Combinazione dei Principi di Soluzione è realizzabile ?	Rientra nei costi ammissibili ?	Incorpora misure di sicurezza dirette ?	E' compatibile con la tecnologia aziendale ?	C'è una adeguata informazione ?	OSSERVAZIONI	DECISIONE
Variante Concettuale 1	+	+	+	+	+	+	+		+
Variante Concettuale 2	-	+	+	+	+	+	+	Problemi di architettura	-
Variante Concettuale 3	+	+	+	+	+	+	-	E' una soluzione completamente innovativa	-

Fig. 59 Matrice Decisionale

La Variante Concettuale 1, avendo tutti punteggi positivi, risulta essere vincente rispetto alle altre varianti.

Ipotizzare dei percorsi solutivi sulla matrice morfologica e in seguito valutarli con la matrice decisionale potrebbe non essere un compito semplice. Introduciamo perciò una **alternativa** a quello che è il **metodo** classico di **individuazione** dei **percorsi solutivi** attraverso la **Matrice Decisionale**. In pratica possiamo ottenere il percorso della soluzione tecnica ottimale facendocelo suggerire direttamente dalle diverse matrici di valutazione di importanza relativa costruite per ciascun requisito trovato, ovvero per: **Industriabilità**, **Resistenza strutturale**, **Personalizzazione** e **Precisione** (vedere le fig. 60,61,62,63).

MATRICE di IMPORTANZA RELATIVA - <b>Industriabilità</b>	CNC	Additive Manufacturing	Lavoro Manuale	Altre Tecnologie (per esempio alettroerosione)	Totale (Importanza Relativa)
CNC	1	0	2	2	5
Additive Manufacturing	2	1	2	2	7
Lavoro Manuale	0	0	1	0	1
Altre Tecnologie (per esempio alettroerosione)	0	0	2	1	3

Fig.60 – Matrice di Importanza Relativa per **Industriabilità**

MATRICE di IMPORTANZA RELATIVA - <u>Personalizzazione</u>	Forma Complessa	Materiali Avanzati	Tecnologia dedicata	Architettura specifica	Totale ( Importanza Relativa)
Forma Complessa	1	1	2	2	6
Materiali Avanzati	1	1	2	1	5
Tecnologia dedicata	0	0	1	1	2
Architettura specifica	0	1	1	1	3

Fig.61 – Matrice di Importanza Relativa per Personalizzazione

MATRICE di IMPORTANZA RELATIVA - <u>Precisione</u>	Caratteristica del Materiale	Architettura a doppio strato	Lavorabilità	Resistenza strutturale e Termica	Totale ( Importanza Relativa)
Caratteristica del Materiale	1	0	2	1	4
Architettura a doppio strato	2	1	2	1	6
Lavorabilità	0	0	1	0	1
Resistenza strutturale e Termica	1	1	2	1	5

Fig.62 – Matrice di Importanza Relativa per Precisione

MATRICE di IMPORTANZA RELATIVA - <u>Resistenza Strutturale</u>	Struttura / Telaio	Architettura / Montaggio	Materiale	Forma	Totale ( Importanza Relativa)
Struttura / Telaio	1	2	2	1	6
Architettura / Montaggio	0	1	2	1	4
Materiale	0	0	1	1	2
Forma	1	1	1	1	4

Fig.63 – Matrice di Importanza Relativa per Resistenza Strutturale

Dalle quattro matrici di importanza relativa, una per ogni caratteristica, applicate a Industrialità, Resistenza strutturale, Personalizzazione e Precisione, otteniamo il seguente percorso “ottimizzato” sulla matrice morfologica e coincidente con quello trovato per mezzo della matrice decisionale, vedi fig. 64.

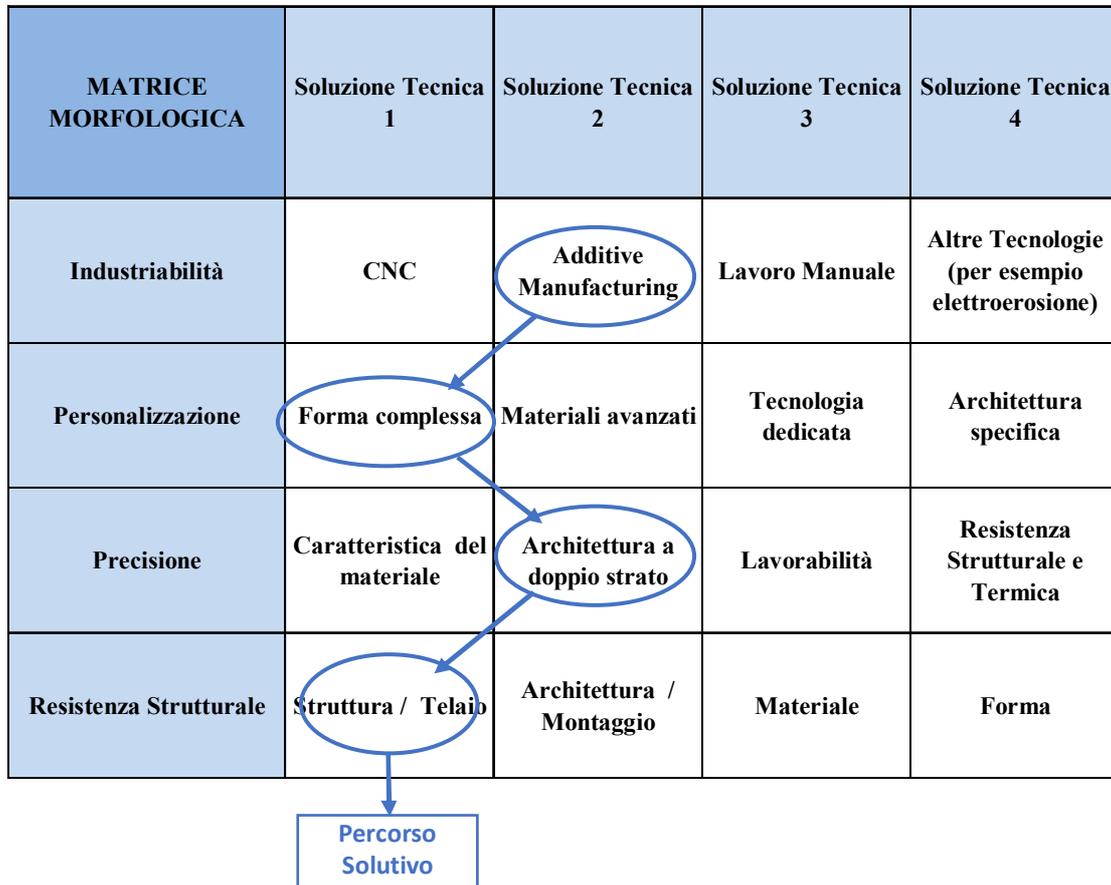


Fig. 64 Matrice Morfologica e Percorso Solutivo

Il concetto di stampo aperto proposto dal percorso solutivo appena trovato attraverso la Matrice Morfologica, può essere delineato come illustrato nella fig. 65 che segue:

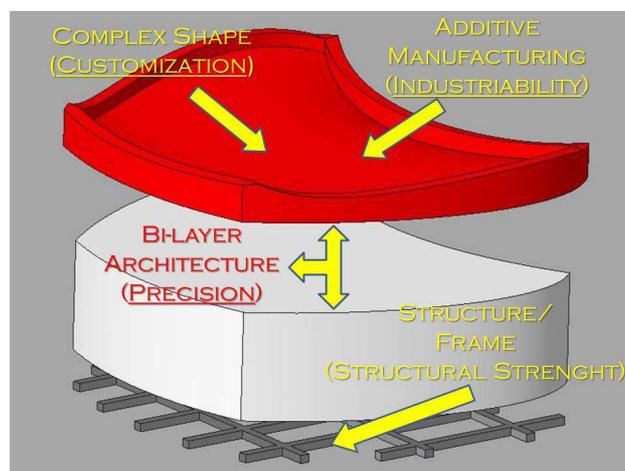


Fig. 65 Concetto di Stampo aperto proposto dall’analisi QFD

In pratica lo stampo risultante dall'analisi QFD si presenta con tre strati: un telaio per la Resistenza Strutturale (rappresentata dalla struttura reticolare in basso), un supporto intermedio in un materiale leggero e facilmente lavorabile per la Precisione (rappresentato dal blocco intermedio) e uno strato additivo di forma complessa facile da modellare e da rifinire per la Personalizzazione e l'Industriabilità (rappresentato dalla parte in alto).

#### 6.1.4 Produzione di stampi aperti: approccio TRIZ per trovare la soluzione innovativa

La soluzione tecnica, suggerita dal QFD, può essere sottoposta ad una analisi TRIZ per un'ulteriore ottimizzazione.

Il primo compito di questo approccio è la formulazione del "risultato finale ideale", cioè l'obiettivo finale del lavoro, il migliore tra le possibili soluzioni. Da questo punto di partenza ideale, che è possibile ipotizzare attraverso un'analisi funzionale attribuendo un valore ottimale a tutti i parametri che rendono quel punto di partenza una soluzione "ideale" ma magari non praticabile, si cercherà di "regredire" rinunciando ad eventuali parametri "vincenti" verso soluzioni sempre meno ideali ma più praticabili.

L'analisi può iniziare con l'assunzione ideale di uno stampo con tre strati, quello risultante dall'analisi QFD precedente: un telaio per la Resistenza Strutturale (rappresentata dalla struttura reticolare in basso), un supporto intermedio in un materiale leggero e facilmente lavorabile per ottenere la Precisione (rappresentato dal blocco intermedio) e uno strato additivo di forma complessa facile da modellare e da rifinire per la Personalizzazione e l'Industriabilità (rappresentato dalla parte in alto).

Questo è il "Risultato Finale Ideale" da cui partire (vedi Fig.66).

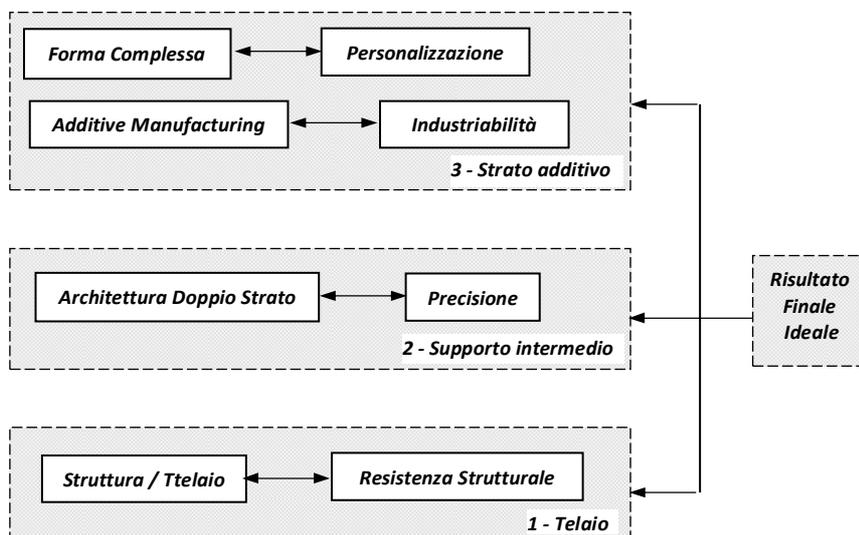


Fig. 66 Risultato Finale Ideale

Dopo aver fissato il Risultato Ideale Finale, nella fase successiva vengono analizzati gli obiettivi da raggiungere e le limitazioni del prodotto. Questi dati sono stati acquisiti dalla precedente analisi QFD e per ogni requisito, l'importanza relativa è stata valutata su una scala che va da 1 a 10 (vedi Fig.67).

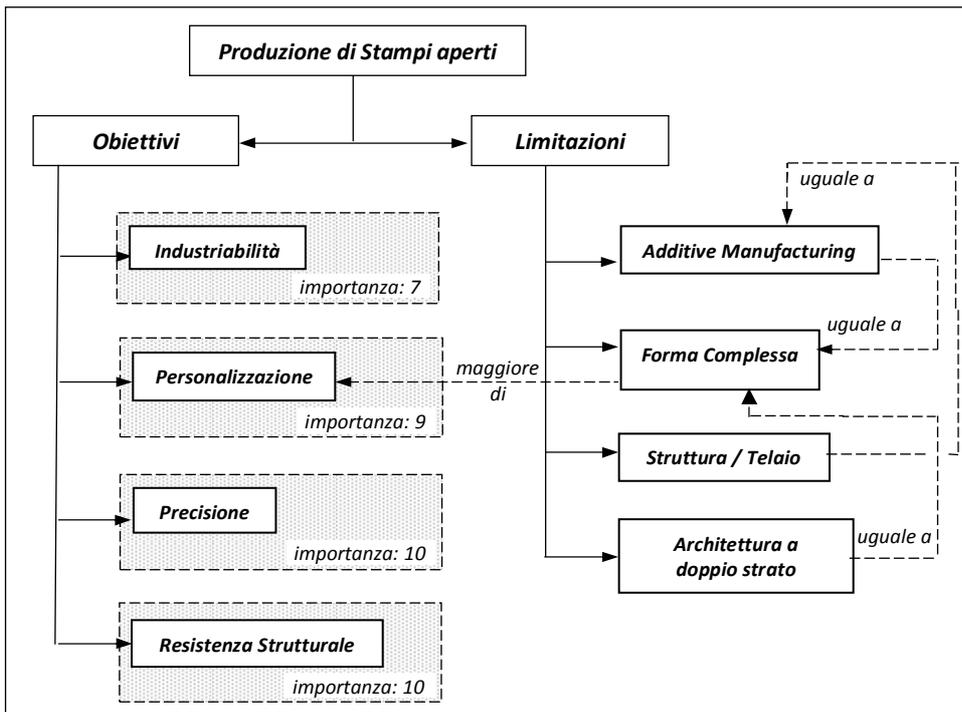


Fig. 67. Obiettivi e limiti del prodotto

Nel passaggio successivo si costruisce un grafico in cui si inseriscono tutti i rapporti tra le diverse parti che compongono lo stampo e tutti gli operatori che intervengono, i punti di forza e i componenti coinvolti. Si ottiene quindi un diagramma funzionale (vedi Fig.68) in cui ogni relazione può essere descritta come utile o dannosa; ogni relazione è stata impostata in modo che interagisca con i parametri dello stampo, i parametri del progetto, etc..

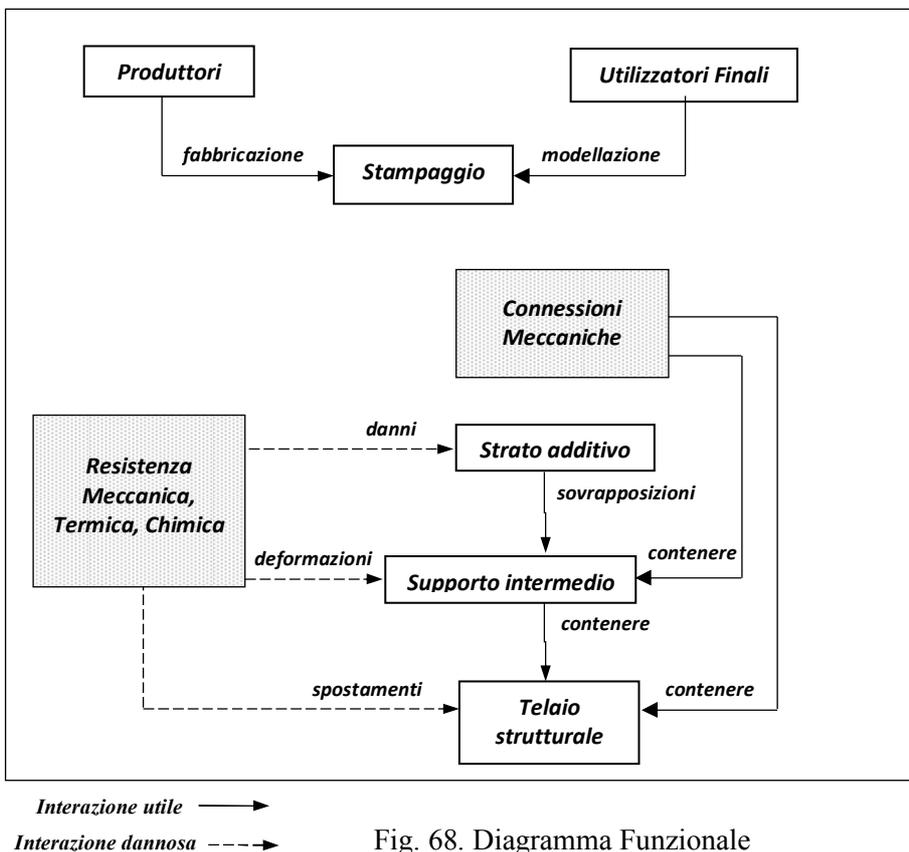


Fig. 68. Diagramma Funzionale

Al fine di ridurre i tempi di calcolo per l'analisi delle relazioni sopra citate, può essere utilizzato un software, TechOptimizer ® (Copyright © 2006 by Invention Machine Corporation. All rights reserved. All trademarks, registered trademarks are the property of their respective owners) dedicato per l'analisi dei problemi TRIZ.

Per mezzo di questo software, una volta inseriti gli elementi appartenenti al “problema inventivo” e le connessioni tra questi elementi, sarà possibile calcolarne l'importanza attribuendo ad essi un valore numerico che il software calcolerà in base all'importanza relativa tra gli elementi; due esempi dell'attribuzione di questo valore sono mostrati in Fig. 69 e Fig. 70.

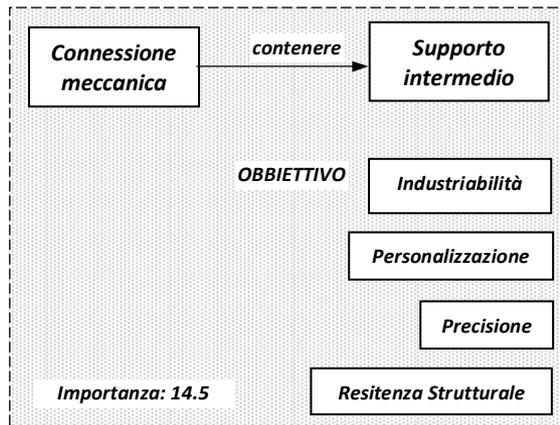


Fig. 69 Definition of positive action

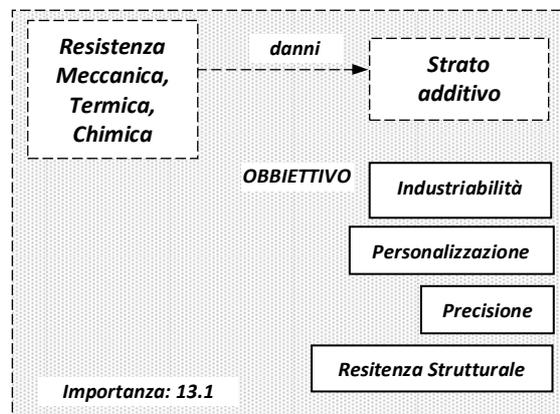


Fig. 70 Definition of negative action

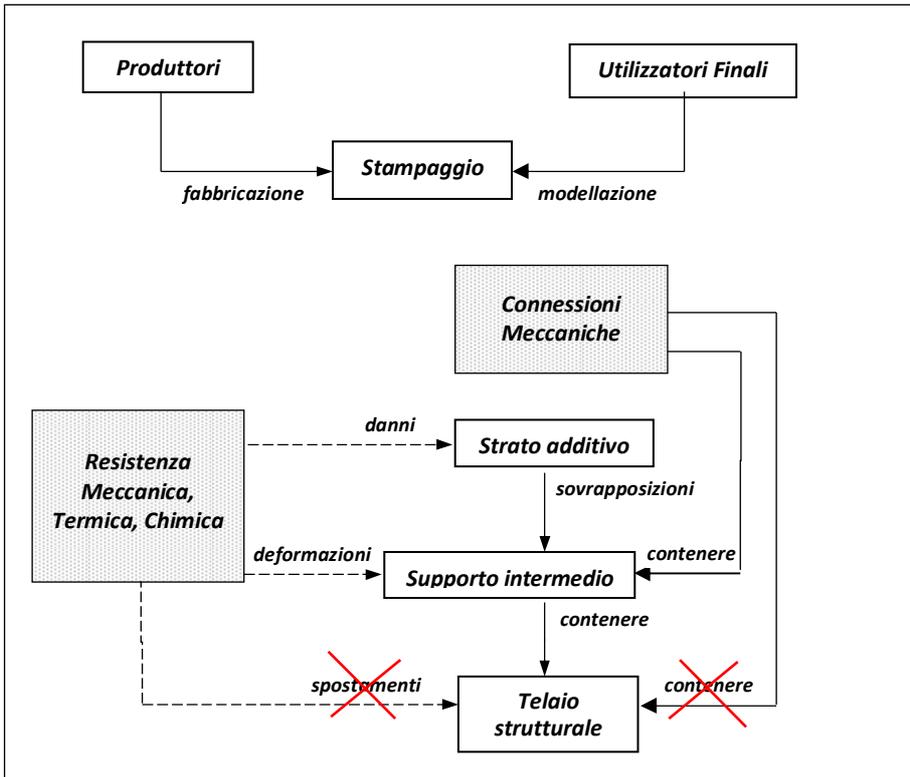
L'analisi funzionale rappresentata nelle figure 68, 69 e 70 può essere rappresentata anche sotto forma di matrice, detta **Matrice di Interazione**, così chiamata in quanto descrive le interazioni che avvengono, sia positive che negative, tra tutti gli elementi che fanno parte del Sistema Tecnico (vedi fig.71).

Nel caso in cui l'interazione sia utile, verrà riportato il valore 1, nel caso in cui l'interazione sia dannosa verrà riportato il valore 0 e infine nel caso in cui non vi sia interazione tra gli elementi considerati non verrà riportato alcun valore.

Stampo aperto	Connessioni Meccaniche	Stampaggio	Strato additivo	Supporto Intermedio	Telaio	Utilizzatori finali	Resistenza Meccanica, Termica, Chimica	Produttori
Connessioni Meccaniche				1	1			
Stampaggio						1		1
Strato additivo				1			0	
Supporto Intermedio	1		1		1		0	
Telaio	1			1			0	
Utilizzatori finali		1						
Resistenza Meccanica, Termica, Chimica			0	0	0			
Produttori		1						

Fig.71 – Matrice di Interazione

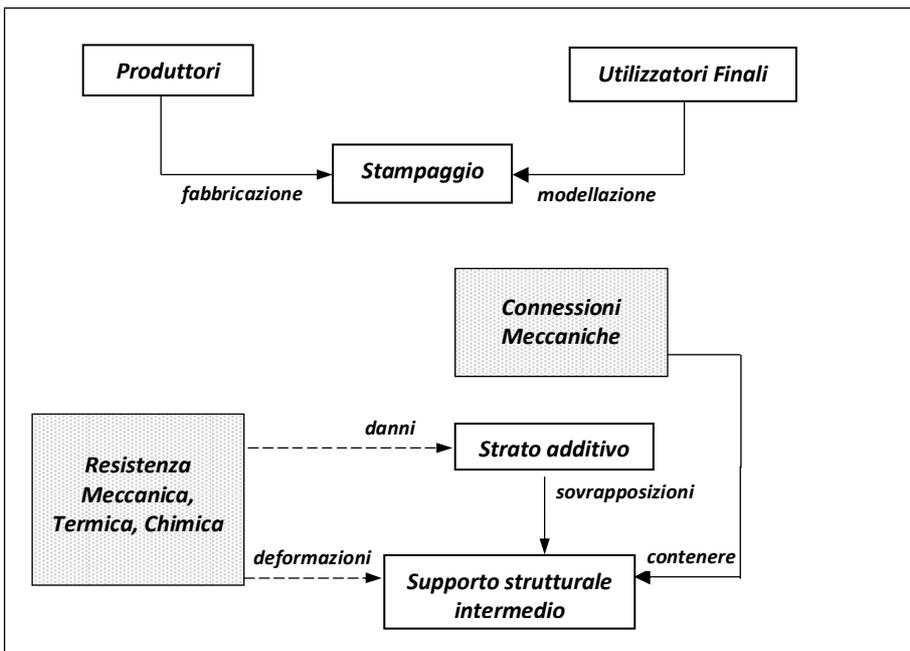
Dopo la valutazione delle relazioni dei componenti del sistema si passa al “**Trimming**”, uno strumento che consente di ottimizzare il problema scegliendo il percorso e l'architettura ottimali del progetto ed eliminando i componenti e le azioni negative o non necessarie (vedi fig. 72). In pratica si cerca di “regredire” da un sistema completo e ideale, ad un sistema meno ideale ma maggiormente realizzabile da un punto di vista tecnico e pratico. In questa fase il Trimming tenta di eliminare o modificare le relazioni e gli elementi impostati nel modello ideale chiedendo all'utente, passo dopo passo, se è possibile lavorare con il sistema dopo l'avvio di un determinato intervento (eliminazione di una relazione e/o di un elemento).



Interazione utile →  
 Interazione dannosa - - ->

Fig. 72 Operazioni di Trimming

Il risultato delle operazioni di Trimming è visibile in fig.73



Interazione utile →  
 Interazione dannosa - - ->

Fig. 73 Risultato delle operazioni di Trimming

Le operazioni di Trimming portano quindi al risultato di ridurre gli strati dello stampo da tre (Telaio strutturale + Supporto intermedio + Strato additivo) a due (Supporto strutturale intermedio + Strato additivo). TechOptimizer® ha quindi ottimizzato la soluzione eliminando il telaio strutturale, quello che garantiva la resistenza dello stampo, e trasferendo la sua funzione meccanica sul supporto intermedio.

Pertanto, la soluzione innovativa è un'architettura a doppio strato composta da un supporto autosufficiente (Supporto strutturale intermedio) e da uno strato additivo di forma complessa (vedi Fig. 74):

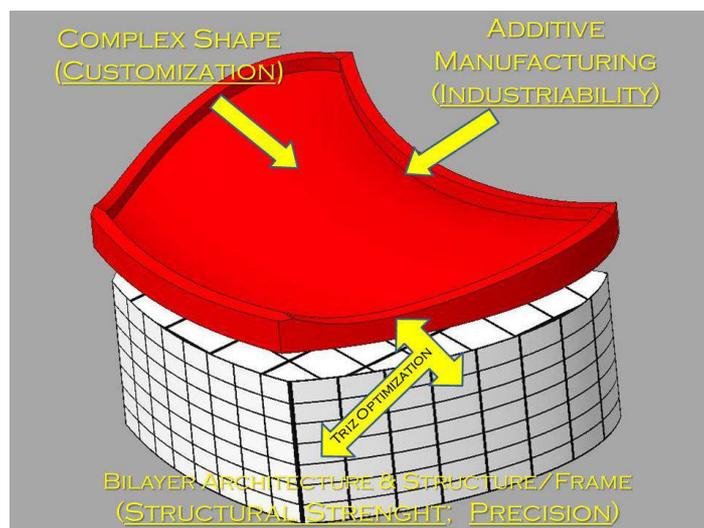


Fig. 74. Risultato dell'ottimizzazione per mezzo dell'analisi TRIZ

### 6.1.5 Produzione di stampi aperti: Risultato – la Produzione Ibrida

L'analisi integrata QFD e TRIZ ha suggerito la possibilità di un nuovo metodo di produzione per gli stampi aperti per laminazione, in grado di offrire tempi rapidi di lavorazione, precisione delle tolleranze dimensionali e piccole rugosità delle superfici, automatizzazione del processo e basso consumo di materiale, tutto questo al fine di ottimizzare il processo di fabbricazione non influenzando in maniera negativa sull'ambiente. Tutti questi requisiti possono essere soddisfatti da un nuovo modo di pensare al processo di fabbricazione degli stampi aperti combinando tecniche additive e sottrattive al fine di ottimizzare il processo produttivo.

Questo nuovo metodo di produzione si basa su una considerazione fondamentale relativa alla funzionalità dello stampo aperto, ovvero sul fatto che nello stampaggio aperto, solo poche superfici dell'intero stampo sono utili alla laminazione del pezzo e devono essere sottoposte a lavorazione per raggiungere specifiche rugosità e tolleranze dimensionali.

Il volume rimanente dello stampo non richiede una precisione particolare e può essere modellato anche in modo approssimativo. L'idea suggerita dall'analisi QFD e TRIZ è quella di produrre lo stampo in due parti: un supporto interno di materiale grezzo e, su di esso, un sottile letto di materiale plastico depositato con tecnologia additiva e che deve seguire la forma dello stampo.

La Figura 75 mostra uno stampo aperto e la sua relativa parte sagomata (a). Nella figura viene poi mostrata una sequenza di fasi in cui vengono realizzati i processi di produzione ibrida per la preparazione dello stampo aperto, essi sono: un supporto (b), ottimizzato in termini di volume e forma, che può essere realizzato da un blocco di materiale grezzo mediante fresatura; la deposizione

di materiale sul supporto (c), che deve essere stratificato e giungere il più vicino possibile alla “forma obiettivo”; un’eventuale lavorazione conclusiva con controllo numerico (d) al fine di conformare lo stampo alle tolleranze dimensionali e alla rugosità corrette.

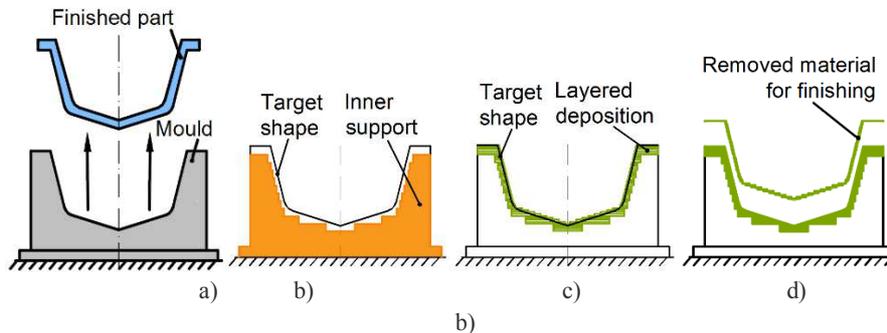


Fig. 75 Processo ibrido per la produzione di stampi aperti

Al fine di migliorare l'industrializzazione e la precisione del processo produttivo, potrebbe essere consigliabile automatizzare tutte queste operazioni additive e sottrattive. Nei laboratori del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Bologna è disponibile una stampante ibrida 3D a 5 assi, mostrata in Figura 76, in grado di funzionare contemporaneamente sia come sistema di produzione additiva che sottrattiva. La testa di lavoro del sistema può essere collegata sia ad una fresa capace di operare in maniera sottrattiva per preparare il supporto strutturale intermedio dello stampo aperto, sia ad un ugello capace di spruzzare materiale resinoso o estrarre materiale plastico per realizzare lo strato superiore dello stampo. Il sistema può lavorare su un volume molto grande (5x3x2 m) e può essere comandato attraverso un'interfaccia molto intuitiva.

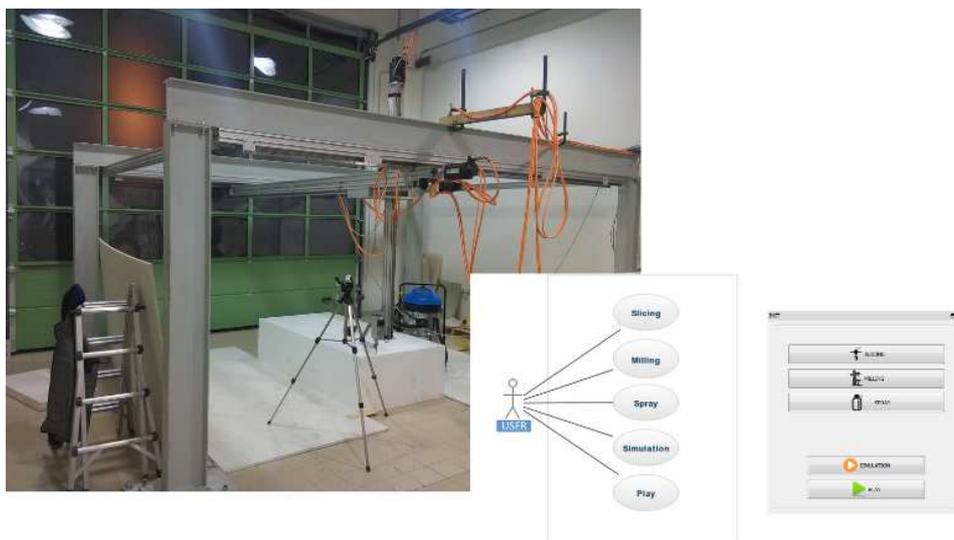


Fig. 76 Stampante ibrida 3D a 5 assi dei laboratori dell'Università di Bologna

### 6.1.6 Produzione di stampi aperti: Conclusione

In questa applicazione per stampi aperti per laminazione della metodologia di progettazione integrata QDF e TRIZ è stata messa a punto una strategia che mira a combinare la produzione additiva e sottrattiva, in pratica è stato ottenuto un processo innovativo di tipo ibrido. Il lavoro è stato sviluppato attraverso le seguenti fasi: 1) analisi QFD composta dalle sei domande, matrici di valutazione e matrice morfologica; 2) Requisiti del prodotto e architettura concettuale del prodotto presi come output dell'analisi QFD; 3) Analisi TRIZ che ha preso come punto di partenza l'output QFD sopra menzionato; 4) Architettura finale ottimizzata del processo integrato QFD e TRIZ (vedi fig.77).

Infine, dall'integrazione delle soluzioni innovative QFD e TRIZ è nata la proposta di un nuovo metodo per la produzione degli stampi aperti.

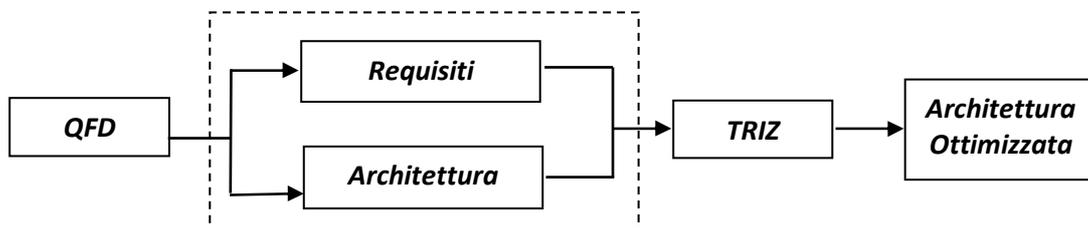


Fig.77 Integrazione dei metodi QFD e TRIZ nella produzione di stampi aperti

## 6.2 Progettazione innovativa di un mezzo di trasporto urbano: l'Hoverboard

In questa applicazione sono stati utilizzati i metodi integrati QDF e TRIZ al fine di progettare un mezzo di trasporto innovativo, green, sostenibile, basato su energia rinnovabile, utile per spostarsi nel centro delle città medie e grandi: questo mezzo di trasporto è l'hoverboard.

### 6.2.1 Perché applicare le energie rinnovabili ai mezzi di trasporto innovativo nelle città?

Il nostro stile di vita è strettamente legato, tra le altre cose, al modo in cui viaggiamo per svolgere le nostre attività (lavoro, tempo libero, studio, ecc.). L'automobile, che fa parte del nostro stile di vita e che apprezziamo molto, spesso viene utilizzata anche quando non c'è un reale bisogno di essa. Questo mezzo di trasporto possiede in effetti dei lati positivi, in particolare ha una buona autonomia, ma possiede anche dei lati negativi, soprattutto in città, che sono subiti personalmente dall'autista come il tempo perso in coda, lo stress, la difficoltà e i costi di parcheggio, ecc.; svantaggi che spesso superano i vantaggi.

Inoltre ci sono anche gli effetti negativi subiti dal resto dei cittadini che si muovono senza usare l'auto e tra di essi ricordiamo per esempio l'inquinamento sia atmosferico che acustico.

Le attuali alternative alle automobili sono spesso poco attraenti. I mezzi pubblici presentano uno scarso comfort di marcia, e una scarsa capacità di utilizzo e di rispetto delle coincidenze. Per quanto riguarda la bicicletta, essa potrebbe essere il mezzo di trasporto ottimale in città per percorrere brevi distanze (ed in effetti circa la metà di tutti i viaggi in città è inferiore ai 5 km), ma purtroppo non riesce ad imporsi, principalmente a causa della mancanza di condizioni di sicurezza adeguate sulla strada, ad eccezione di paesi come l'Olanda e la Danimarca.

Tutto quanto sopra descritto ci fa capire la necessità di sviluppare un mezzo di trasporto urbano innovativo, che superi i problemi associati al traffico, all'inquinamento, alla mancanza di comfort e che abbia la capacità di abbreviare i tempi di trasporto.

Allo scopo di comprendere quali saranno i mezzi di trasporto per la mobilità futura utilizzeremo i risultati ottenuti da un lavoro di ricerca portato avanti con la metodologia QFD che non solo ha mostrato come l'hoverboard sarà uno dei futuri mezzi di trasporto nei centri delle medie e grandi città, ma anche quali sono le caratteristiche tecniche che tale prodotto deve possedere.

A partire dall'analisi di tutti i migliori tipi di hoverboard presenti oggi sul mercato, sono stati generati dei concetti innovativi di progettazione. La metodologia QFD orientata alla qualità ha contribuito a stabilire quelli che sono i desideri e le necessità dell'eventuale acquirente di questo mezzo di trasporto urbano, mentre attraverso una metodologia TRIZ orientata all'innovazione sono state ottenute delle proposte innovative di hoverboard. In pratica, mentre la metodologia QFD ha un forte richiamo concettuale ed è la base della nostra analisi, il metodo TRIZ offre una spinta più innovativa e tratta aspetti decisamente più costruttivi e concreti. La matrice delle contraddizioni, uno degli strumenti tipici del TRIZ, è stata utilizzata all'interno del "modello a Collina" e attraverso di essa è stato possibile rielaborare i problemi innovativi suggeriti dall'analisi QFD in termini di contraddizioni tecniche.

Lo scopo principale di questa applicazione è stato quello di dimostrare come le due metodologie sopra menzionate, ovvero la metodologia QFD e la metodologia TRIZ, possano essere integrate in un percorso di sviluppo di prodotti innovativi, supportandosi l'un l'altra; infatti, mentre la metodologia QFD è in grado di indicare le caratteristiche specifiche che un prodotto innovativo deve possedere, non è però in grado di indicare le soluzioni tecniche necessarie per superare i problemi di innovazione che sorgono durante il processo di progettazione. D'altra parte, la metodologia TRIZ è in grado di trovare soluzioni che superano i problemi che presentano le idee innovative di prodotto, ma non è in grado di suggerire quali siano le specifiche e le caratteristiche tecniche che un prodotto innovativo deve possedere per poter soddisfare le esigenze del cliente e le sue aspettative.

Per mostrare come le due metodologie si integrano e possono aiutarsi a vicenda, è stato preso in considerazione lo sviluppo innovativo di un prodotto come l'hoverboard.

Infine, sono state presentate una serie di proposte per innovare sempre di più questo mezzo di trasporto urbano e moderno.

### **6.2.2 Hoverboard - Applicazione del metodo TRIZ per ottenere un'architettura innovativa**

L'analisi TOP-FLOP implementata da L. Frizziero, "Conceptual design of an innovative electric transportation means with QFD, bench marking, top-flop analysis", Far East Journal of Electronics and Communications, Volume 18 (1), 2018,, 2018, ci consente di identificare sedici caratteristiche principali che un mezzo di trasporto elettrico innovativo come l'hoverboard deve possedere.

Sulla base di queste caratteristiche, verrà condotta un'analisi che porterà, attraverso la metodologia TRIZ, ad un'architettura innovativa di hoverboard (vedi Fig.78)

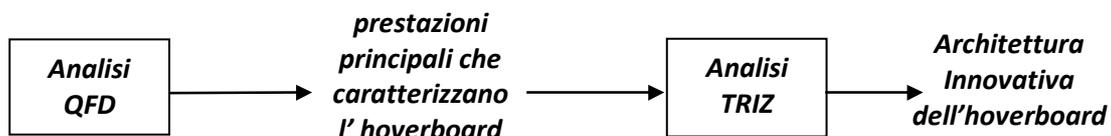


Fig.78 Dall'analisi QFD all'analisi TRIZ per ottenere architetture innovative di hoverboard

Di tutte e sedici le caratteristiche solamente otto di queste funzionalità sono state prese in considerazione perché si è appurato che sono quelle che hanno la capacità di rendere l'hoverboard più performante.

Le otto funzionalità identificate sono le seguenti:

- 1) Velocità dell'Hoverboard (Km / h)
- 2) Durata della batteria (h)
- 3) Tempo di ricarica della batteria (h)
- 4) Peso dell'Hoverboard (Kg)
- 5) Lunghezza dell'Hoverboard (mm)
- 6) Larghezza dell'Hoverboard (mm)
- 7) Altezza dell'Hoverboard (mm)
- 8) Potenza massima dell'Hoverboard (Watt)

Sarà proprio a partire da queste funzionalità che procederemo con l'analisi TRIZ. Migliorare le otto caratteristiche identificate significherebbe migliorare le prestazioni dell'hoverboard e questo è proprio ciò che vogliamo ottenere. L'aspetto negativo della questione potrebbe essere rappresentato dal fatto che il miglioramento di una delle otto funzionalità potrebbe portare al deterioramento di un'altra funzionalità o di più di una. In pratica ci potremmo trovare di fronte ad una "contraddizione tecnica" che, secondo la Teoria del TRIZ, è l'ostacolo più grande che limita l'evoluzione di un sistema tecnico, in questo caso dell'hoverboard.

La domanda che ci poniamo prima di procedere con il nostro metodo integrato è la seguente: "Quale strada possiamo intraprendere per realizzare un'evoluzione del "sistema tecnico" chiamato hoverboard?"

Nella metodologia TRIZ, il primo passo nel processo di risoluzione di problema inventivo come questo, è quello di sviluppare una descrizione generale del problema e identificare le contraddizioni che impediscono il raggiungimento del "risultato più desiderabile". Il "risultato più desiderabile" è il risultato finale ideale, la migliore soluzione possibile tra quelle ottenibili.

Il secondo passo del processo di risoluzione è quello di ottenere una "buona formulazione" del problema in termini di contraddizioni tecniche al fine di identificare il nucleo del problema e formulare una soluzione semplice.

Il terzo passo del processo di risoluzione è quello di trovare una soluzione di natura generale per ogni contraddizione del sistema. In questa fase del processo di risoluzione saranno molto utili gli strumenti sviluppati per il TRIZ da Altshuller come ad esempio la matrice di contraddizione.

Il quarto e ultimo passaggio del processo di risoluzione consiste nel tradurre la soluzione generale in una soluzione innovativa specifica.

Il processo di risoluzione si sviluppa quindi in quattro passaggi successivi e può essere rappresentato graficamente attraverso il "Modello a Collina", rappresentato in Fig.79:

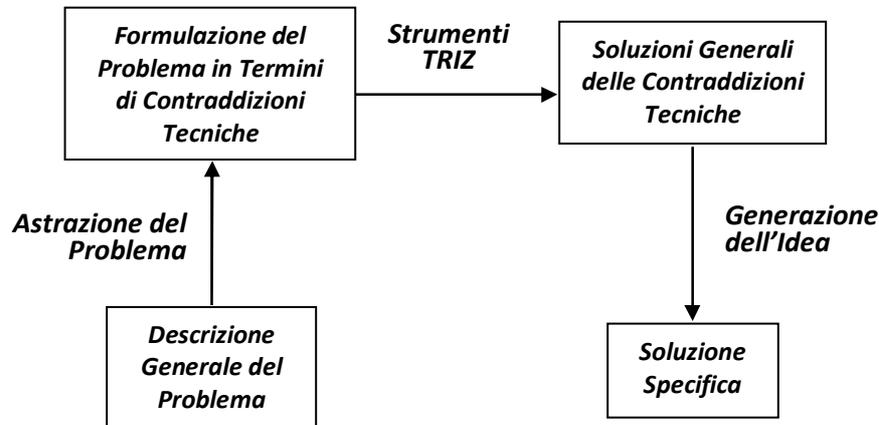


Fig.79 Processo di Risoluzione secondo il modello a Collina

### 6.3 Le quattro fasi del processo di risoluzione di un problema inventivo

Le quattro fasi del processo di risoluzione di un problema inventivo che sono state considerate nel paragrafo precedente possono essere sintetizzate nei seguenti punti:

1. Descrizione generale del problema
2. Formulazione del problema in termini di contraddizioni tecniche
3. Ricerca di una soluzione generale
4. Traduzione della soluzione generale in una soluzione innovativa specifica

#### 6.3.1 Descrizione generale del problema

Un problema ben definito è un problema risolto a metà, quindi è necessario, all'inizio della soluzione del problema, giungere alla comprensione ottimale del problema stesso e di tutto il sistema che gli gravita attorno. È necessario esaminare il problema e chiedersi cosa ci impedisce di dare una risoluzione; è così che saranno evidenziati i vincoli e sorgeranno le contraddizioni da risolvere.

Per migliorare le prestazioni dell'hoverboard, è necessario migliorare una o più delle seguenti funzioni:

- ✓ velocità dell'hoverboard,
- ✓ durata della batteria,
- ✓ tempo di ricarica della batteria,
- ✓ peso dell'hoverboard,
- ✓ dimensioni dell'hoverboard (lunghezza, larghezza e l'altezza dell'hoverboard)
- ✓ massima potenza dell'hoverboard.

Se una delle funzioni sopra elencate viene migliorata ma questo porta al deterioramento di una o più delle altre caratteristiche allora nasceranno all'interno del sistema quelle che vengono chiamate contraddizioni tecniche. Il problema da affrontare diventerà quindi quello di migliorare le prestazioni dell'hoverboard risolvendo le contraddizioni tecniche che sorgeranno.

### 6.3.2 Formulazione del problema in termini di contraddizioni tecniche

Dopo aver fornito una descrizione generale del problema da risolvere e il contesto in cui questo problema si sviluppa, è possibile formulare il problema in termini di contraddizioni tecniche.

La Fig.80 mostra un modello generale di formulazione del problema in termini di contraddizione tecnica secondo quella che è la teoria TRIZ.

Il metodo più semplice per cercare i parametri che vanno in conflitto tra loro e che creano le contraddizioni tecniche è quello di rispondere a domande come:

- Cosa migliora?
- Cosa peggiora ?
- Quale aspetto del sistema migliora?
- Quale aspetto del sistema peggiora?

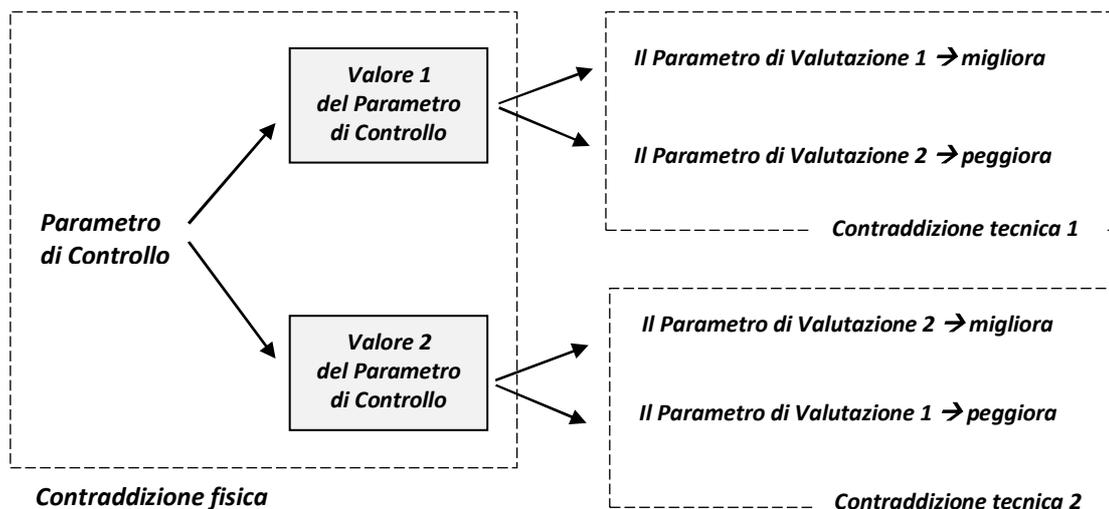


Fig.80 Modello generale di formulazione del problema in termini di Contraddizione Tecnica

Quando si applica questo modello teorico al nostro caso pratico, quello dell'hoverboard, è possibile ottenere i modelli rappresentativi mostrati da Fig.81 a Fig.85. Questi modelli rappresentano ciascuno degli otto parametri identificati all'inizio di questa analisi e descrivono le contraddizioni tecniche che possono sorgere variando i valori di tali parametri.

Se ad esempio il valore della velocità dell'hoverboard varia in una forbice che si muove tra un valore alto e un valore basso, si può ottenere la contraddizione 1 illustrata in Fig.80:

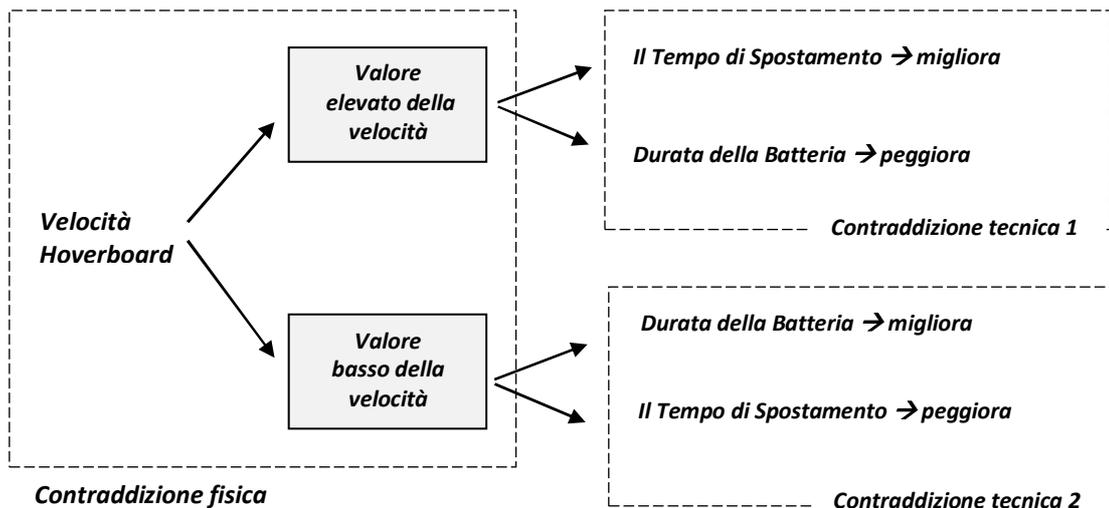


Fig.80 Contraddizione 1: derivante dalla modifica dei valori di velocità dell'hoverboard

Se il valore di durata della batteria dell'hoverboard varia tra un valore di durata elevato (implementando una batteria grande nell'hoverboard) e un valore di durata basso (implementando una batteria piccola nell'hoverboard), è possibile ottenere la contraddizione 2 illustrata in Fig.81:

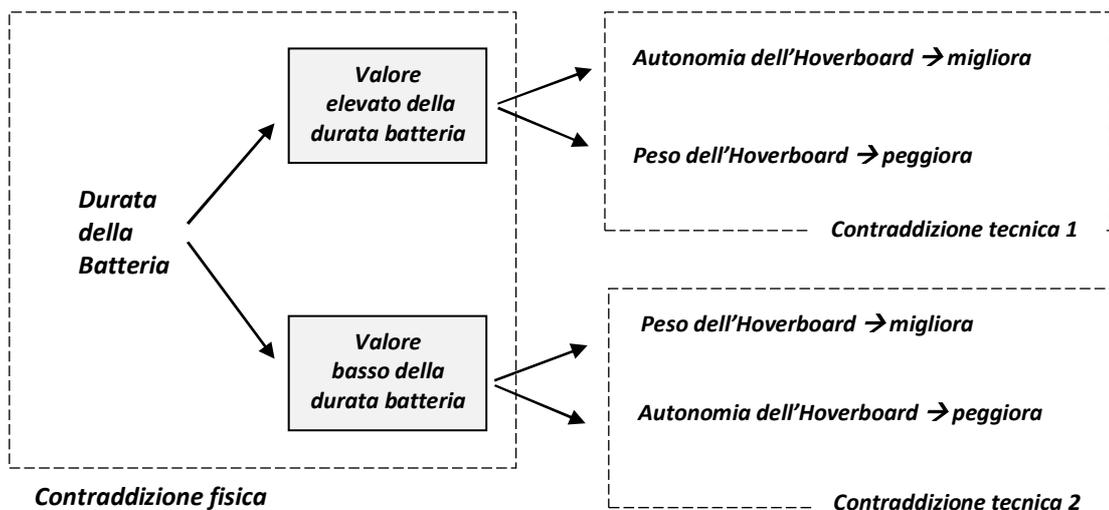


Fig.81 Contraddizione 2: derivante dalla modifica dei valori di durata della batteria dell'hoverboard

Se il valore del tempo di ricarica della batteria dell'hoverboard varia tra un valore del tempo di ricarica elevato (implementando una batteria grande nell'hoverboard) e un valore del tempo di ricarica basso (implementando una batteria piccola nell'hoverboard), è possibile ottenere la contraddizione 3 illustrata in Fig.82:

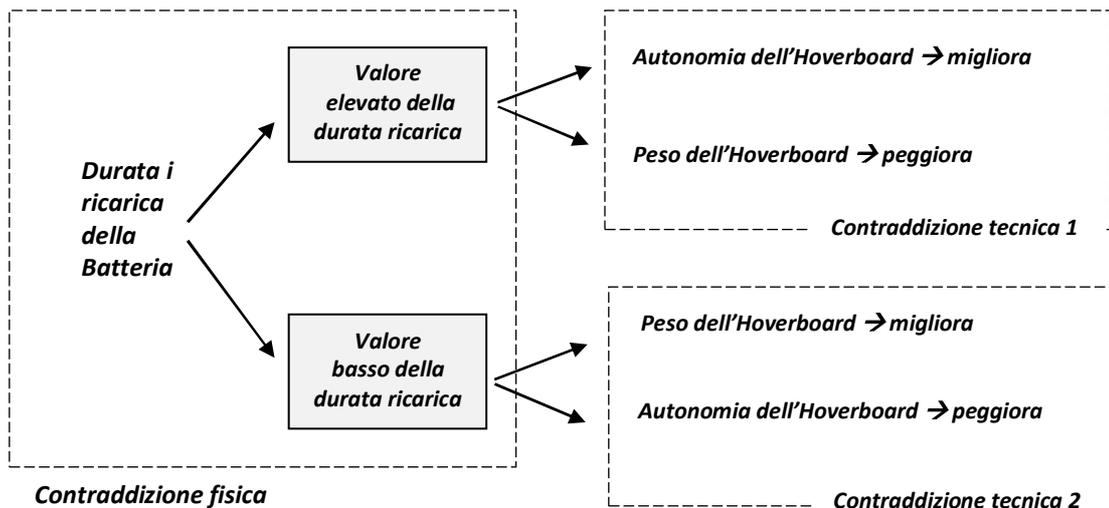


Fig.82 Contraddizione 3: derivante dalla modifica dei valori di durata di ricarica della batteria dell'hoverboard

Se il valore di peso dell'hoverboard varia tra un valore di peso elevato (a causa di una batteria grande) e un valore di peso basso (a causa di una batteria piccola), questo nelle ipotesi che l'hoverboard sia già ottimizzato a livello di materiali e di struttura, per cui il peso viene modificato prevalentemente dal fattore batteria, si può ottenere la contraddizione 4 illustrata in Fig.83:

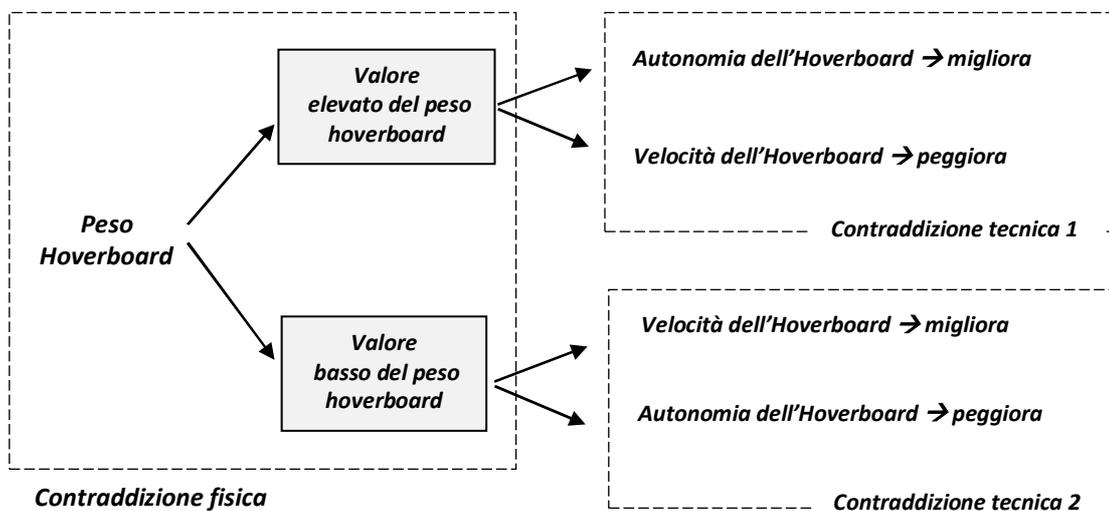


Fig.83 Contraddizione 4: derivante dalla modifica dei valori di peso dell'hoverboard

Se il valore della dimensione dell'hoverboard varia tra un valore di dimensione elevata e un valore di dimensione ridotta, si può ottenere la contraddizione 5 illustrata in Fig.84:

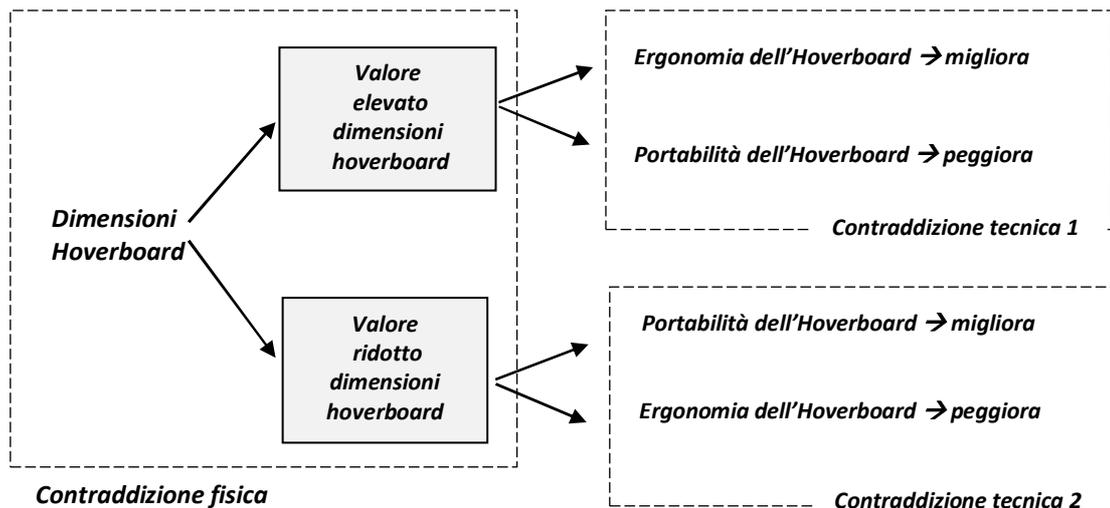


Fig.84 Contraddizione 5: derivante dalla modifica dei valori di dimensioni (larghezza, lunghezza e altezza) dell'hoverboard

Se il valore di potenza massima dell'hoverboard varia tra un valore di potenza massima elevata e un valore di potenza massima bassa, è possibile ottenere una contraddizione 6 illustrata in Fig.85:

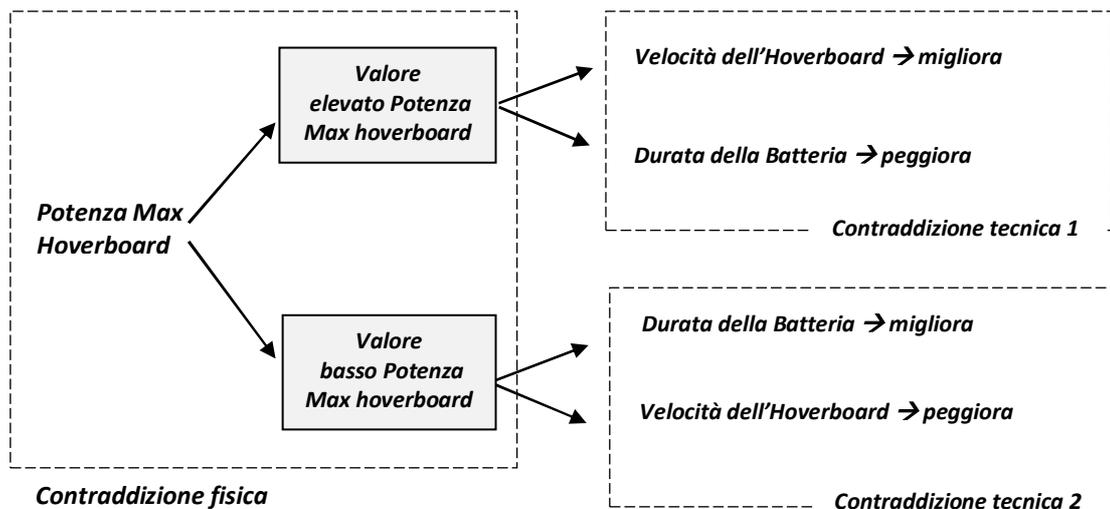


Fig.85 Contraddizione 6: derivante dalla modifica dei valori di potenza massima dell'hoverboard

### 6.3.3 Ricerca delle soluzioni generali per risolvere le contraddizioni e traduzione delle soluzioni generali in soluzioni innovative specifiche

Genrich Altshuller, nella teoria sviluppata per il TRIZ, ha identificato 39 parametri tecnici e 40 principi inventivi che possono essere utilizzati per eliminare le contraddizioni tecniche. I 39 parametri tecnici e i 40 principi inventivi sono collegati tra loro attraverso la Matrice di Altshuller, detta anche Matrice delle Contraddizioni.

Alla luce di questo, le contraddizioni tecniche riscontrate nei passaggi precedenti possono essere tradotte nei parametri tecnici della Matrice di Altshuller. In pratica, ciascun problema può essere descritto in termini di contraddizioni tecniche attraverso i 39 parametri tecnici e si può trovare una

soluzione generale del problema preso in esame attraverso i 40 principi inventivi implementati nella matrice Altshuller.

Considerando quanto detto, è possibile modificare il layout del modello a collina mostrato in Fig.79 nello schema di Fig.86:

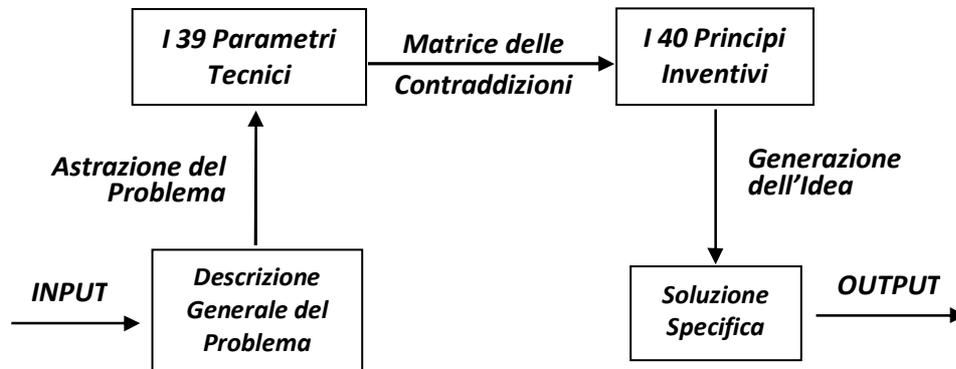


Fig.86 Processo di Risoluzione secondo la metodologia TRIZ

Quando tutte le contraddizioni tecniche sono state evidenziate, esse possono essere analizzate attraverso la matrice Altshuller, nella quale sono presenti i parametri tecnici che peggiorano le contraddizioni considerate e quelli che le migliorano. È possibile identificare, attraverso questa matrice, i principi inventivi che possono risolvere le contraddizioni tecniche; questi principi inventivi sono delle soluzioni del tutto generali dei problemi analizzati ma possono indicare percorsi di soluzione e/o generare idee risolutive per il progettista.

### Contraddizione 1 e prima indicazione della soluzione.

Se si osserva la contraddizione 1 mostrata in Fig. 80, è possibile affermare che uno dei parametri tecnici che peggiora è la "Perdita di tempo", mentre uno dei parametri tecnici che migliorano è "l'Uso di energia da oggetti in movimento" e viceversa (vedi fig.87).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 Weight of moving object	-		15, 6, 29, 17, 29, 34			29, 2, 2, 8, 15, 10, 38													19, 1, 35, 12
2 Weight of stationary object		-	10, 1, 35, 35			10, 1, 35, 35													19, 1, 35, 12
3 Length of moving object	8, 15, 29, 34		-	15, 17, 4		7, 17, 4													19, 1, 35, 12
4 Length of stationary object		35, 35		-	17, 7, 4														19, 1, 35, 12
5 Area of moving object	2, 17, 29, 4	14, 15, 15, 4			-	7, 14, 17, 4													19, 1, 35, 12
6 Area of stationary object		30, 2, 14, 18				-													19, 1, 35, 12
7 Volume of moving object	2, 26, 29, 40	1, 7, 4, 35																	19, 1, 35, 12
8 Volume of stationary object		35, 10, 19, 14																	19, 1, 35, 12
9 Speed	2, 28, 13, 38	13, 14, 8																	19, 1, 35, 12
10 Force (intensity)	8, 1, 37, 10	18, 13, 1, 20, 5, 28, 10																	19, 1, 35, 12
11 Stress or pressure	10, 38, 37, 40	13, 29, 10, 18, 35																	19, 1, 35, 12
12 Shape	8, 10, 15, 10, 29, 34	13, 14, 5, 34, 4																	19, 1, 35, 12
13 Stability of the object's composition	21, 35, 26, 39, 13, 15, 2, 39	1, 40, 1, 20, 37																	19, 1, 35, 12
14 Strength	1, 8, 40, 14, 20, 35	1, 15, 8, 15, 14, 3, 34																	19, 1, 35, 12
15 Duration of action of moving object	19, 5, 34, 31	2, 18, 9																	19, 1, 35, 12
16 Duration of action by stationary object		8, 27, 18, 16																	19, 1, 35, 12
17 Temperature	36, 22, 6, 38	22, 35, 15, 19, 9																	19, 1, 35, 12
18 Illumination intensity	19, 1, 52	2, 36, 32, 15																	19, 1, 35, 12
19 Use of energy by moving object	12, 18, 8, 31	12, 38																	19, 1, 35, 12
20 Use of energy by stationary object		19, 9, 6, 27																	19, 1, 35, 12
21 Power	8, 38, 6, 38	19, 28, 31, 17, 27																	19, 1, 35, 12
22 Loss of Energy	15, 6, 18, 6, 38	19, 28, 15, 9																	19, 1, 35, 12
23 Loss of substance	10, 24, 35, 24	35, 6, 14, 29, 10, 35, 2, 10, 39																	19, 1, 35, 12
24 Loss of information	10, 24, 35, 24	10, 35, 1, 29, 26, 2, 10, 39																	19, 1, 35, 12
25 Loss of Time	10, 24, 35, 24	10, 35, 1, 29, 26, 2, 10, 39																	19, 1, 35, 12

Fig.87 Contraddizione 1 - prima indicazione di soluzione

I principi inventivi che possono essere derivati dalla matrice Altshuller (Fig.87) sono i seguenti:

Principio 18 - Vibrazioni meccaniche

Principio 19 - Azione periodica

Principio 35 - Modifiche dei parametri

Principio 38 – Forte Ossidante

Se si considera il Principio Inventivo 18 (vibrazione meccanica), si potrebbe pensare ad una soluzione innovativa specifica sostituendo il motore elettrico CC dell'hoverboard con un motore piezoelettrico (vedi Fig.88):

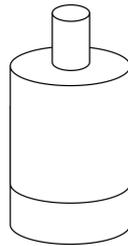


Fig.88 Motore piezoelettrico

Il principio di funzionamento di un motore piezoelettrico è mostrato nella Figura 89a, 89b, 89c, 89d, 89e:

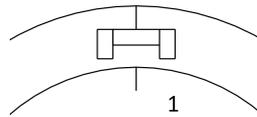


Fig.89a Motore piezoelettrico – Principio operativo

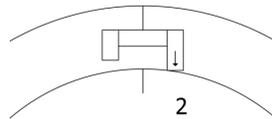


Fig.89b Motore piezoelettrico – Principio operativo

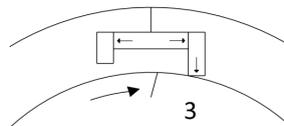


Fig.89c Motore piezoelettrico – Principio operativo

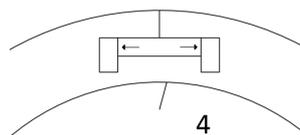


Fig.89d Motore piezoelettrico – Principio operativo

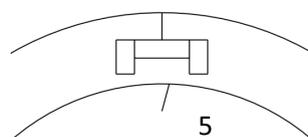


Fig.89e Motore piezoelettrico – Principio operativo

Se si considerano i Principi Inventivi 19 (Azione periodica) e 35 (Modifica parametri), si potrebbe considerare come soluzione innovativa specifica quella di spostare l'hoverboard con un motore elettrico CA (vedi Fig. 90) anziché un motore elettrico CC (vedi Fig. 91); il cambio di corrente potrebbe essere fatto usando un inverter.

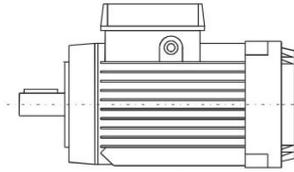


Fig.90 Motore elettrico AC

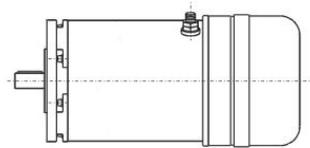


Fig.91 Motore elettrico DC

Il Principio inventivo 38 (Forte ossidante) non suggerisce delle Soluzioni generali per il superamento della contraddizione 1.

### Contraddizione 1 e seconda indicazione di soluzione.

Se si osserva la contraddizione 1 mostrata in Fig. 80, sarebbe possibile affermare che uno dei parametri tecnici che peggiora è la "Durata dell'azione dell'oggetto in movimento", mentre uno dei parametri tecnici che migliorano è "Utilizzo di energia spostando l'oggetto " e viceversa (vedi fig.92).

		<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>↓ Improving Feature</p> <p>↑ Worsening Feature</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>↘</p> </div> </div>																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
		Weight of moving object	Weight of stationary object	Length of moving object	Length of stationary object	Area of moving object	Area of stationary object	Volume of moving object	Volume of stationary object	Speed	Force (Intensity)	Stress or pressure	Shape	Stability of the object's composition	Strength	Duration of action of moving object	Duration of action of stationary object	Temperature	Illumination intensity	Use of energy by moving object	
1	Weight of moving object	-		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31		
2	Weight of stationary object		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27		2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35		
3	Length of moving object			-		15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19		10, 15, 19	32	8, 35, 34	
4	Length of stationary object				+		17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14		28, 10, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26		1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25			
5	Area of moving object					+		7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	29, 4, 13, 39	40, 14	6, 3			2, 15, 19	15, 32, 19, 13	19, 32	
6	Area of stationary object						+			1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	1, 15, 29, 4	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 9, 14	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	
7	Volume of moving object							+		29, 4, 38, 34	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15		35, 34, 38	35, 6, 4			
8	Volume of stationary object								+		13, 28, 6, 18	35, 15, 28, 33	6, 18, 18, 34	35, 15, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5		28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	
9	Speed									+		18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	14, 27	19, 2		35, 10, 21		19, 17, 0	
10	Force (Intensity)										+		35, 4, 15, 10	35, 33, 22, 1	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	3, 19	13, 19	
11	Stress or pressure											+		33, 1, 30, 14	14, 26, 9, 25			30, 10, 27, 16		2, 6, 34, 4	
12	Shape												+								
13	Stability of the object's composition													+							
14	Strength														+						
15	Duration of action of moving object																				

Fig.92 Contraddizione 1 - seconda indicazione di soluzione

I principi inventivi che possono essere derivati dalla matrice Altshuller (vedi Fig. 92) sono i seguenti:

Principio 6 - Universalità

Principio 18 - Vibrazioni meccaniche

Principio 28 - Sostituzione meccanica

Principio 35 - Modifiche dei parametri

Se si considerano i Principi inventivi 6 (Universalità) e 28 (Sostituzione meccanica), sarebbe possibile pensare ad una soluzione innovativa specifica in cui sostituire il sistema di movimento meccanico dell'hoverboard con un sistema di levitazione magnetica (vedi Fig. 93):

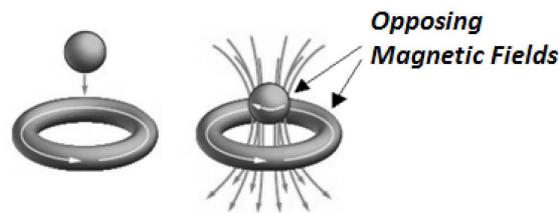


Fig.93 Levitazione magnetica

Considerando il principio dei treni a levitazione magnetica (vedi Fig.94) in cui non vi è alcun contatto tra la monorotaia e il treno stesso è possibile pensare a una soluzione generale in cui una "tavola hoverboard", quindi un oggetto modificato rispetto ad un classico hoverboard con ruote, fa la "parte" del treno, mentre un binario inserito nelle strade dei percorsi urbani fa la "parte" della monorotaia; vedi Fig. 95a e Fig. 95b che forniscono due varianti della stessa soluzione.

Questo tipo di soluzione porterebbe all'eliminazione di ruote, eventuali sistemi di sospensioni, motore e trasmissione dell'hoverboard; la forza motrice verrebbe inserita direttamente nella monorotaia mentre nell'hoverboard sarebbero "sistemati" degli elementi conduttori di corrente.

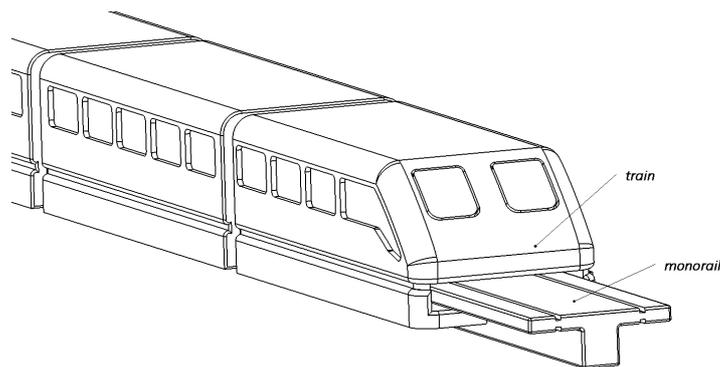


Fig.94 Treni a Levitazione magnetica

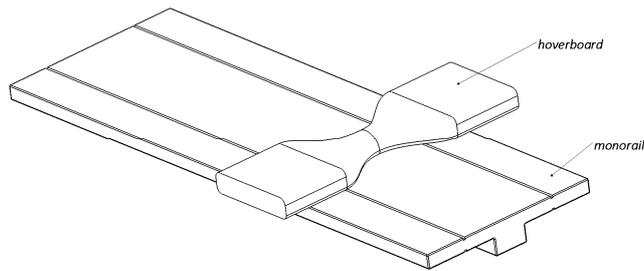


Fig.95a Tavola hoverboard con Levitazione Magnetica

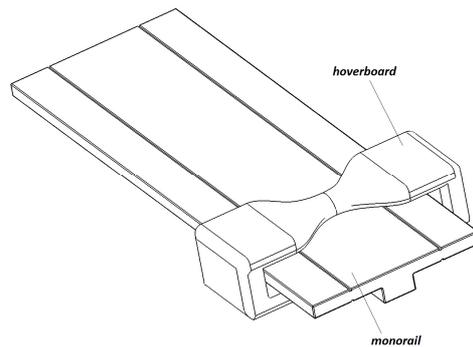


Fig.95b Tavola hoverboard con Levitazione Magnetica

Se viene considerato il Principio inventivo 28 (Sostituzione della Meccanica), sarebbe possibile pensare ad una Soluzione generale nella quale sostituire il sistema di movimento meccanico dell'hoverboard con un sistema di levitazione e propulsione ad elica (vedi Fig. 96):

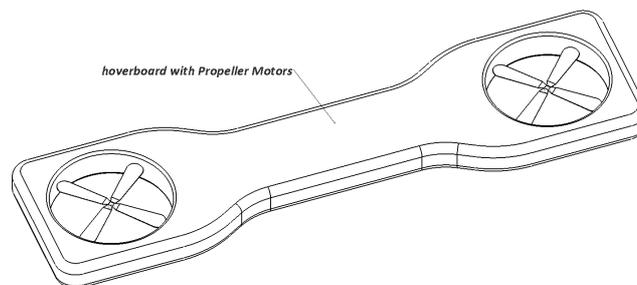


Fig.96 Tavola hoverboard con sistema di propulsione ad elica

Il principio inventivo 18 (vibrazione meccanica) e il principio inventivo 35 (modifica dei parametri) non suggeriscono soluzioni generali per superare la contraddizione 1.

### **Contraddizione 2 e Contraddizione 3: terza indicazione di soluzione.**

Se si considera la contraddizione 2 mostrata in Fig. 81 e la contraddizione 3 mostrata in Fig. 82, possiamo affermare che queste due contraddizioni si basano sugli stessi parametri tecnici. Uno dei parametri tecnici che peggiora è "l'Uso di energia in oggetti in movimento", mentre uno dei parametri tecnici che migliora è il "Peso dell'oggetto in movimento" e viceversa (vedi fig. 97).

1	Weight of moving object	-
2	Weight of stationary object	
3	Length of moving object	8, 15, 25, 34
4	Length of stationary object	
5	Area of moving object	2, 17, 29, 4
6	Area of stationary object	
7	Volume of moving object	2, 26, 29, 40
8	Volume of stationary object	
9	Speed	2, 28, 15, 38
10	Force (Intensity)	8, 37, 8
11	Stress or pressure	10, 36, 3, 40
12	Shape	8, 10, 25, 40
13	Stability of the object's composition	2, 35, 2, 39
14	Strength	1, 4, 40, 5
15	Duration of action of moving object	1, 5, 34, 31
16	Duration of action by stationary object	
17	Temperature	36, 22, 6, 38
18	Illumination intensity	1, 92
19	Use of energy by moving object	12, 18, 2, 8, 31

Fig.97 Contraddizione 2 e 3 - terza indicazione di soluzione

I Principi inventivi che possono essere derivati dalla matrice Altshuller (vedi Fig. 97) sono i seguenti:

Principio 2 - Eliminazione

Principio 8 - Anti-peso

Principio 12 - Equipotenzialità

Principio 18 - Vibrazioni meccaniche

Principio 31 - Materiali porosi

Considerando il Principi inventivo 2 (Eliminazione), è possibile pensare come soluzione innovativa specifica quella di estrarre dall'hoverboard alcune delle sue parti, come ad esempio la sua fonte di energia, cioè la batteria (vedi Fig.98).

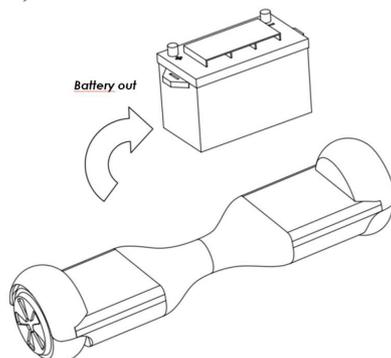


Fig.98 Hoverboard senza batteria al proprio interno

Considerando sempre una soluzione innovativa specifica, è possibile ipotizzare dei "percorsi urbani" costituiti da "binari alimentati a corrente continua" che possono fornire, tramite delle "spazzole collegate all' hoverboard", la corrente continua necessaria per alimentare il motore posto sull'hoverboard (vedi Fig.99). Ricordiamo che se la batteria viene rimossa dall'hoverboard, il peso viene notevolmente ridotto e questo porta grandi benefici alle sue prestazioni.

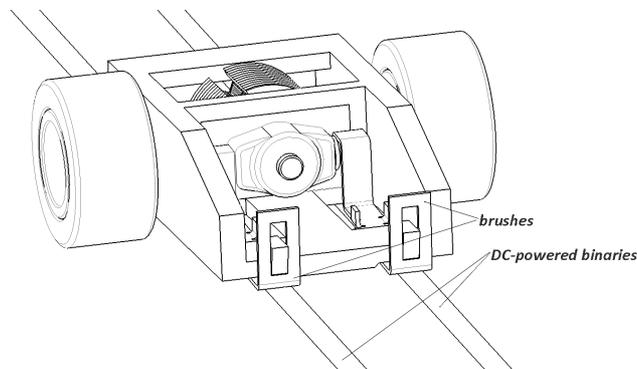


Fig.99 Hoverboard senza batteria al proprio interno e corredato di spazzole che vanno a contatto con il binario alimentato a corrente continua

Considerando il Principi inventivo 8 (Anti-Peso), è possibile ipotizzare una soluzione generale nella quale applicare un anti-peso all'hoverboard per renderlo più leggero. Il principio anti-peso può essere applicato, ad esempio, con un power foils (vedi Fig.100).

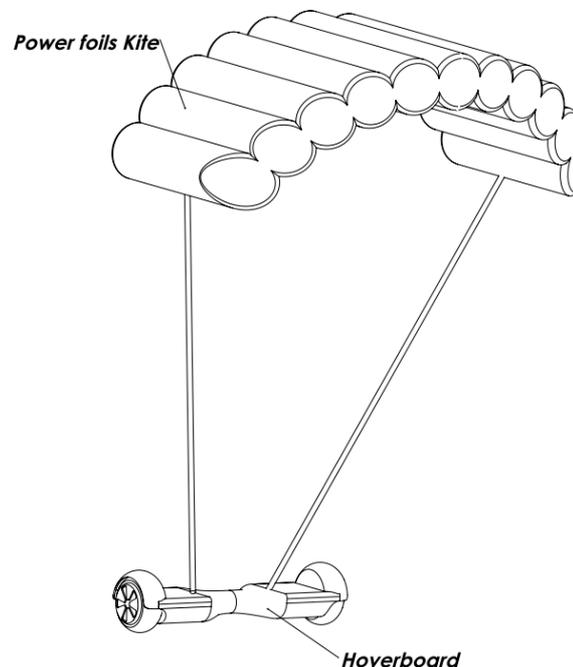


Fig.100 Hoverboard con anti-peso power foils

E' anche possibile prendere in considerazione una combinazione dei principi inventivi 2 (eliminazione) e 8 (anti-peso) e pensare come soluzione innovativa specifica quella che prevede l'estrazione della batteria dall'hoverboard (vedi fig. 98) e l'inserimento della batteria in uno zaino che l'utente dell'hoverboard deve indossare (vedi fig. 101).

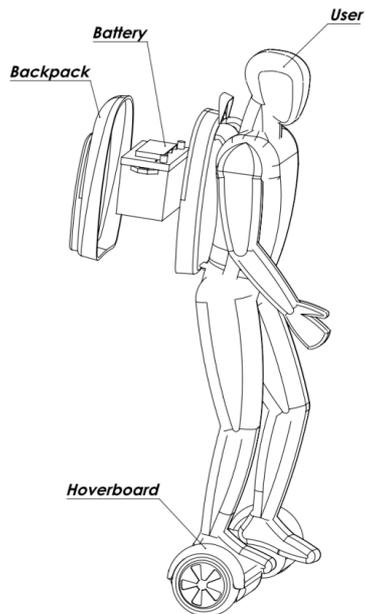


Fig.101 Hoverboard con la batteria inserita nello zaino

Volendo considerare anche l'anti-peso, rappresentato in modo del tutto generale da un palloncino sospeso, questo potrebbe essere applicato direttamente alla batteria contenuta nello zaino (vedi-fig.102):

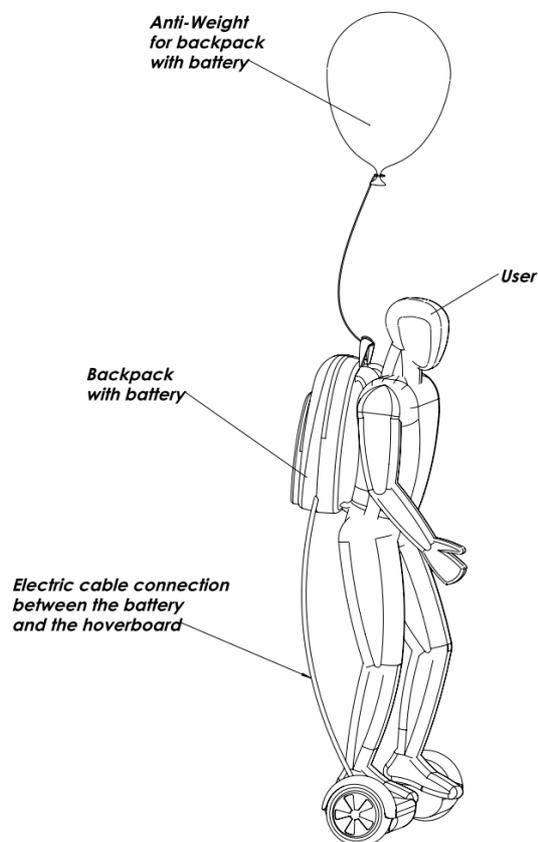


Fig.102 Hoverboard con la batteria inserita nello zaino e anti-peso

È possibile fare un ulteriore passo in avanti a livello di proposte di soluzioni innovative specifiche combinando lo zaino e l'anti-peso in un unico oggetto, uno "zaino gonfiabile" con la capacità di "sostenere" la batteria in aria (vedi fig. 103). Chiaramente queste sono delle proposte di soluzioni innovative che dovranno poi trovare eventuale conferma attraverso approfondimenti progettuali.

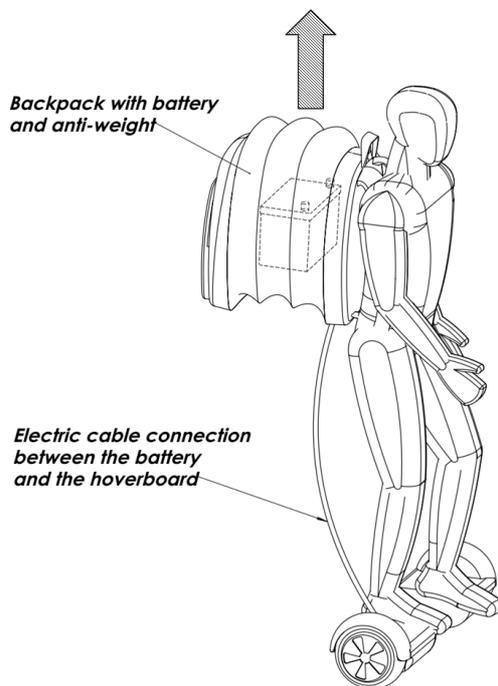


Fig.103 Hoverboard con la batteria inserita nello zaino che svolge anche la funzione di antipeso

Osserviamo che anche se non si riuscisse a realizzare uno zaino in grado di svolgere operazioni di anti-peso, il semplice fatto di avere la batteria esterna all'hoverboard migliorerebbe l'aspetto della ricarica; si potrebbe pensare infatti di avere delle batterie di ricambio per esempio a casa o al lavoro e nel caso in cui quella dello zaino fosse scarica si potrebbe fare il cambio batteria lanciando contemporaneamente la ricarica di quella scarica.

Considerando il Principio inventivo 12 (Equipotenzialità), è possibile pensare ad una soluzione innovativa in cui utilizzare il campo gravitazionale, cioè il peso del passeggero dell'hoverboard e le sue oscillazioni verticali durante il moto, questo al fine di attivare dei componenti piezoelettrici inseriti per esempio nella pedana di appoggio dell'hoverboard stesso (vedi Fig. 104):

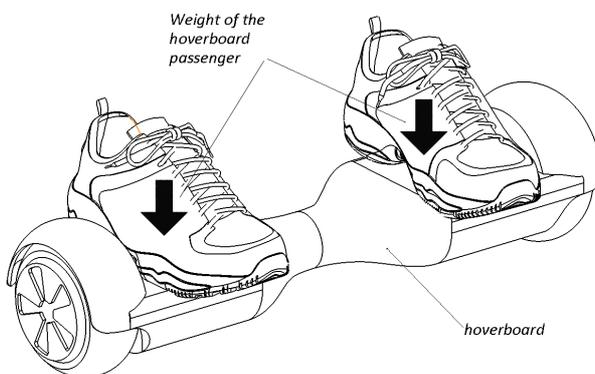


Fig.104 Hoverboard con elementi piezoelettrici attivati dal peso del passeggero

Considerando il Principio inventivo 31 (Materiali porosi), è possibile pensare ad una soluzione innovativa che preveda un hoverboard costituito da una struttura di materiale poroso come schematizzato in Fig.105. Ciò consentirebbe, con opportune verifiche sulla resistenza del materiale e sull'architettura dell'hoverboard, di ottenere un mezzo molto leggero.

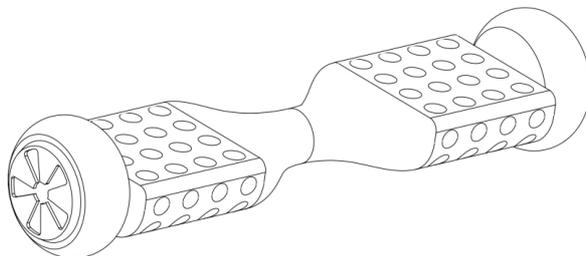


Fig.105 Hoverboard con struttura porosa

Combinando i Principi inventivi 31 (Materiali porosi) e 6 (Universalità), è possibile pensare una soluzione innovativa che preveda la sostituzione delle batterie dell'hoverboard con celle a combustibile (vedi Fig.106) e pensare contemporaneamente all'utilizzo della struttura porosa dell'hoverboard come un serbatoio di idrogeno (vedi Fig.107):

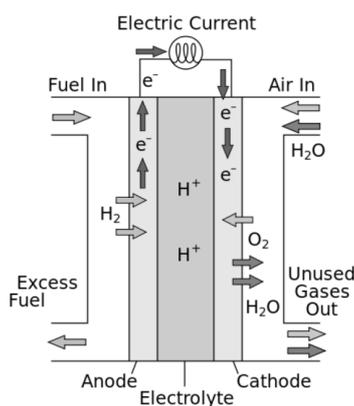


Fig.106 Cella a combustibile

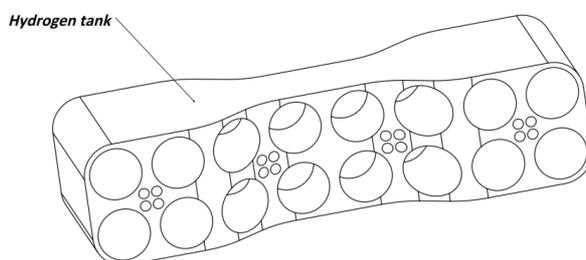


Fig.107 Hoverboard con struttura porosa che svolge le funzioni di serbatoio di idrogeno

#### Contraddizione 4 e quarta indicazione di soluzione.

Osservando la contraddizione 4 mostrata in Fig.83 è possibile affermare che uno dei parametri tecnici che peggiora è "l'Uso di energia da oggetti in movimento", mentre uno dei parametri tecnici che migliorano è la "Velocità" e viceversa (vedi fig.108).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Weight of moving object	+		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 35
2	Weight of stationary object		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2	
3	Length of moving object			+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8
4	Length of stationary object		35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14	
5	Area of moving object	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		-		7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34
6	Area of stationary object		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+			
7	Volume of moving object	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		-		29, 4, 38, 34
8	Volume of stationary object		35, 10, 19, 14		19, 14, 35, 8, 2, 14				+	
9	Speed	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34		
10	Force (Intensity)	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12
11	Stress or pressure	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36
12	Shape	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18
13	Stability of the object's composition	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18
14	Strength	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 3, 26, 14
15	Duration of action of moving object	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 35, 5
16	Duration of action by stationary object		6, 27, 19, 16		1, 40, 35				35, 34, 38	
17	Temperature	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 38, 36, 30
18	Illumination intensity	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 3, 19
19	Use of energy by moving object	12, 18, 2, 8, 31		12, 26		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 35

Fig.108 Contraddizione 4 - quarta indicazione di soluzione

I principi inventivi che possono essere derivati dalla matrice Altshuller (vedi Fig. 108) sono i seguenti:

Principio 8 - Anti-peso

Principio 35 - Modifiche dei parametri

Tali principi sono già stati analizzati in precedenza.

### Contraddizione 5 e quinta indicazione di soluzione.

Osservando la contraddizione 5 mostrata in Fig.84, è possibile affermare che uno dei parametri tecnici che peggiora è la "Perdita di energia", mentre uno dei parametri tecnici che migliorano è la "Velocità" (vedi fig. 109).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Weight of moving object	-		15, 8 29,34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 8
2	Weight of stationary object		+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2	
3	Length of moving object	8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8
4	Length of stationary object		35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14	
5	Area of moving object	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+		7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34
6	Area of stationary object		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+			
7	Volume of moving object	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		+		29, 4, 38, 34
8	Volume of stationary object		35, 10, 19, 14		35, 8, 2, 14				+	
9	Speed	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34		-
10	Force (Intensity)	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12
11	Stress or pressure	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 6
12	Shape	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	6, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18
13	Stability of the object's composition	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18
14	Strength	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 25, 14
15	Duration of action of moving object	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 5, 5
16	Duration of action by stationary object		6, 27, 19, 16		1, 40, 35			35, 34, 38		
17	Temperature	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 34, 30
18	Illumination intensity	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 9
19	Use of energy by moving object	12, 18, 2, 8, 31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 35
20	Use of energy by stationary object		19, 9, 6, 27							
21	Power	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	1, 35, 2
22	Loss of Energy	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	1, 38, 13	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23		16, 35, 38

Fig.109 Contraddizione 5 - quinta indicazione di soluzione

I principi inventivi che possono essere dedotti dalla matrice Altshuller (vedi Fig. 109) sono i seguenti:

- Principio 16 - Azioni parziali o azioni eccessive
- Principio 35 - Modifiche dei parametri
- Principio 38 – Forti Ossidanti

Considerando il Principio inventivo 16 (azioni parziali o azioni eccessive), è possibile pensare ad una soluzione innovativa che preveda un hoverboard con una struttura modulare (simile alla struttura "LEGO") fornito al cliente con dimensioni notevoli, in pratica potremmo fornire un hoverboard sovradimensionato (vedi Fig. 110). L'hoverboard, essendo modulare, può ridurre le proprie dimensioni al "minimo" richiesto dal cliente che lo acquista e lo adatta a sé stesso in base alla propria corporatura (vedi l'hoverboard in dimensioni minime Fig. 111).

I principi inventivi 35 e 38 sono già stati analizzati in precedenza .



I principi inventivi che possono essere derivati dalla matrice Altshuller (vedi Fig. 112) sono i seguenti:

Principio 1 - Segmentazione

Principio 15 - Dinamica

Principio 16 - Azioni parziali o eccessive

Principio 34 - Scarto e recupero

Considerando contemporaneamente il Principio inventivo 1 (Segmentazione) e il Principio inventivo 15 (Dinamica), è possibile ipotizzare una soluzione innovativa in cui pensare di costruire l'hoverboard in modo che possa essere scomposto in diverse parti (vedi Fig.113). Le diverse parti dell'hoverboard possono essere smontate o unite tramite delle connessioni rapide; in questo modo è possibile smontare rapidamente l'hoverboard e questo lo rende più facilmente trasportabile.

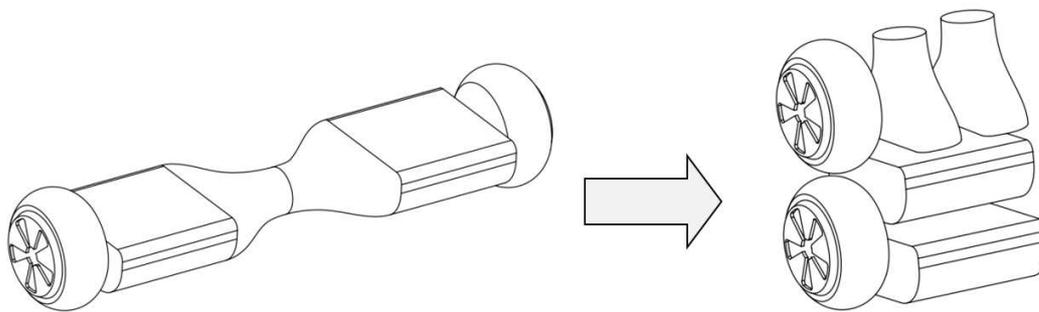


Fig.113 Hoverboard scomposto in parti differenti

Il principio inventivo 16 (azioni parziali o eccessive) non suggerisce soluzioni per la contraddizione 5.

Considerando invece il Principio inventivo 34 (Scarto e recupero), è possibile ipotizzare una soluzione innovativa in cui utilizzare batterie ricaricabili che possono essere facilmente rimosse dall'hoverboard e sostituite da altre batterie ricaricabili messe a disposizione in apposite stazioni di scambio e ricarica, collocate in luoghi opportuni della città (vedi Fig. 114 ).

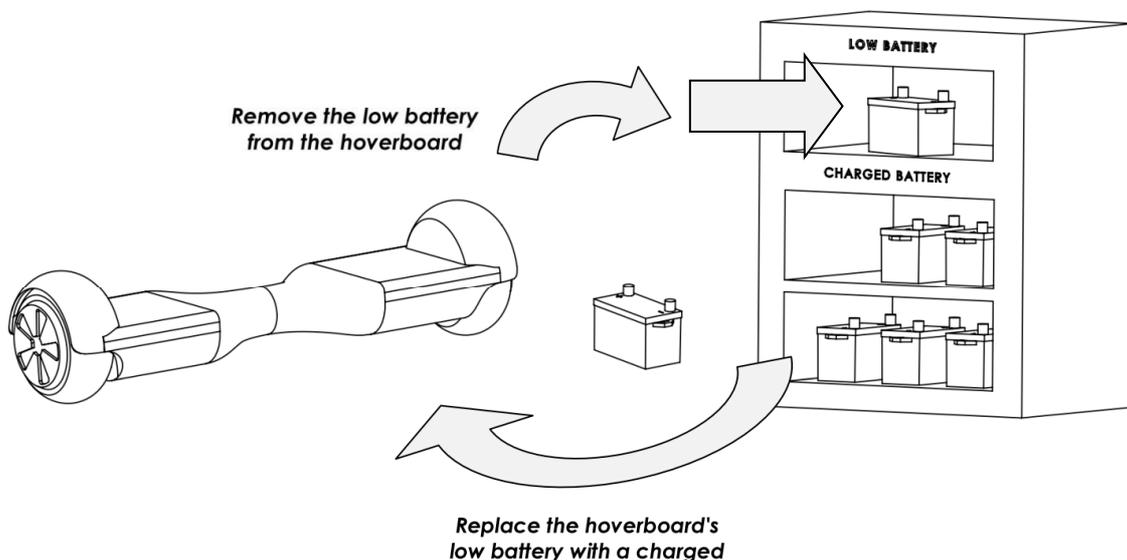


Fig.114 Hoverboard con batterie intercambiabili e stazione di ricarica e scambio

Considerando il Principio inventivo 34 (Scarto e recupero), è possibile pensare ad una soluzione innovativa in cui installare un sistema di ricarica della batteria sull'hoverboard; questo sistema funziona in caso di percorsi in discesa o quando l'hoverboard è in condizioni di frenata.

Il Principio inventivo 34 (Scarto e recupero) suggerisce un'altra soluzione innovativa, quella che prevede di montare un sistema di ricarica della batteria che funzioni attraverso dei pannelli solari posizionati sopra l'hoverboard; in questo modo, quando l'hoverboard non viene utilizzato, può essere esposto alla luce solare e quindi ricaricato (vedi Fig. 115).

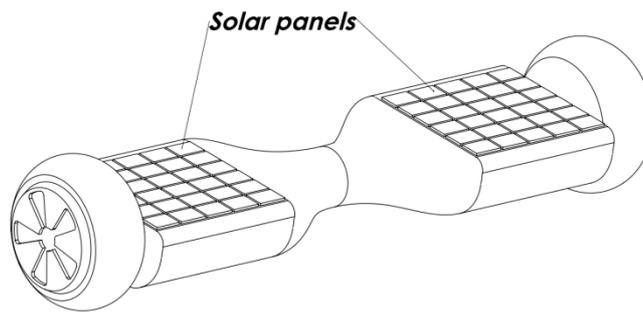


Fig.115 Hoverboard con pannelli solari

**Contraddizione 6 e settima indicazione di soluzione.**

Osservando la contraddizione 6 mostrata in Fig.84 è possibile affermare che uno dei parametri tecnici che peggiora è la "Velocità", mentre uno dei parametri tecnici che migliorano è la "Perdita di energia" (vedi fig.116).

		<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Improving Feature</p> <p>↓</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Worsening Feature</p> <p>→</p> </div> </div>																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		Weight of moving object	Weight of stationary object	Length of moving object	Length of stationary object	Area of moving object	Area of stationary object	Volume of moving object	Volume of stationary object	Speed	Force (Intensity)	Stress or pressure	Shape	Stability of the object's composition	Strength	Duration of action of moving object	Duration of action of stationary object	Temperature	Illumination intensity	Use of energy by moving object	Use of energy by stationary object	Power	Loss of Energy
1	Weight of moving object	+																					
2	Weight of stationary object		+																				
3	Length of moving object	8, 15, 29, 34		-																			
4	Length of stationary object		35, 28, 40, 29		-																		
5	Area of moving object	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+																	
6	Area of stationary object		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+																
7	Volume of moving object	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35				+															
8	Volume of stationary object		35, 10, 19, 14		35, 8, 2, 14				-														
9	Speed	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34															

Fig.116 Contraddizione 6 ( settima indicazione di soluzione)

I principi inventivi che possono essere derivati dalla matrice di Altshuller (vedi Fig. 116) sono i seguenti:

- Principio 14 - Sferoidalità, Curvatura
- Principio 19 - Azione periodica
- Principio 20 - Continuità dell'azione utile
- Principio 35 - Modifiche dei parametri

Considerando il Principio inventivo 14 (Sferoidalità, Curvatura) e il Principio inventivo 35 (Modifica dei parametri) è possibile pensare ad una soluzione innovativa in cui convertire linee rette o superfici piane in linee curve o superfici curve, migliorando quindi la gradevolezza estetica del prodotto e la resistenza agli urti o alle cadute, ma in cui è anche possibile modificare alcuni parametri come il numero delle ruote, passando ad esempio da due ruote ad una (Fig.117).

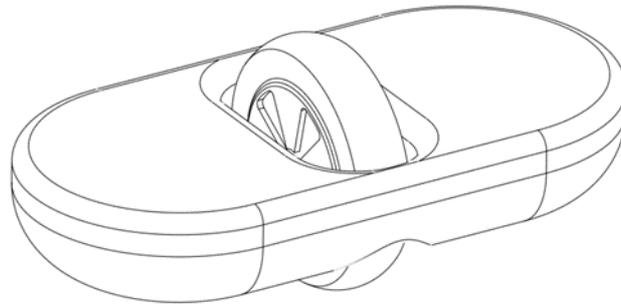


Fig.117 Hoveboard con una ruota e curve arrotondate

Il principio inventivo 19 (Azione periodica) è già stato analizzato in precedenza.

Il Principio inventivo 20 (Continuità dell'azione utile) non suggerisce soluzioni generali che superino la Contraddizione 6.

#### 6.3.4 Progettazione innovativa di un Hoverboard : Conclusioni

Durante il percorso di sviluppo innovativo di un moderno veicolo di trasporto urbano come l'hoverboard, è stato mostrato come i due metodi di progettazione, il QFD e il TRIZ, possano essere integrati e supportarsi l'uno con l'altro. Infatti, mentre la metodologia QFD ci indica le caratteristiche tecniche che un hoverboard innovativo deve possedere, la metodologia TRIZ è in grado di trovare delle soluzioni innovative specifiche che possono ispirare il progettista a creare ed ottenere dei prodotti che sono innovativi e allo stesso tempo soddisfano le richieste e i desideri del cliente.

E' interessante osservare che un progetto innovativo dell'hoverboard è stato intrapreso anche dalla nota azienda LEXUS (vedi fig.118-120 ):

<https://discoverlexus.com/experiences/journeys-beyond-the-road>



Fig.118 Hoveboard a levitazione magnetica della LEXUS



Fig.119 Hoveboard a levitazione magnetica della LEXUS

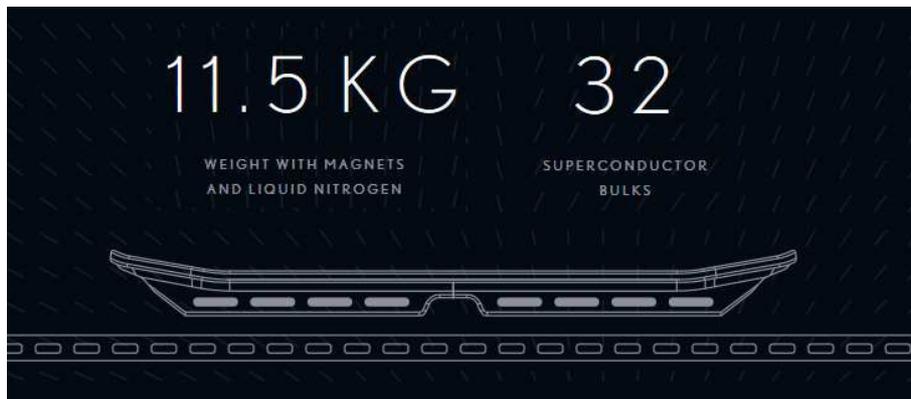


Fig.120 Hoveboard a levitazione magnetica della LEXUS

## Conclusioni Finali

Lo studio e la sperimentazione di una metodologia integrata QFD e TRIZ nelle applicazioni tecniche industriali, mostra chiaramente come ciascuna delle metodologie tragga beneficio dall'altra. La metodologia QFD è avvantaggiata dal TRIZ in tutte quelle fasi in cui è necessaria un'attività inventiva per superare i problemi relativi alla creazione di nuove soluzioni, mentre la metodologia TRIZ è avvantaggiata dal QFD perché esso limita gli orizzonti di ricerca di soluzioni innovative e quindi la dispersione di energie in quanto focalizza la progettazione su quelle caratteristiche tecniche che sono l'espressione dei desideri e delle aspettative del cliente. Tutto questo riduce i costi e i tempi di sviluppo della progettazione di prodotti innovativi, nonché il time to market.

## **Bibliografia:**

Leonid Chechurin - Research and Practice on the Theory of Inventive Problem Solving, Springer International Publishing (2016)

Mayda, M., Borklu, H. R.: Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz's systematic design, TRIZ and QFD. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing 8(3), 1-12 (2014)

A.Freddi, M.Salmon,: Design Principles and Methodologies - From Conceptualization to First Prototyping with Examples and Case Studies, Springer (2018)

Rosen, M.A., Hossam A.: Kishawy Sustainable Manufacturing and Design: Concepts, Practices and Needs Sustainability 4, 154-174 (2012)

Yeh C.H., Huang Jay C. Y., Yu C.K.: Integration of four-phase QFD and TRIZ in product R&D: a notebook case study. Research in Engineering Design 22(3), 125-141 (2011)

Vinodh, S., Chintla, S. K.: Application of fuzzy QFD for enabling leanness in a manufacturing organization. International Journal of Production Research, 49 (6), 1627–1644 (2011)

Gordon Cameron - Trizics\_ Teach yourself TRIZ, how to invent, innovate and solve impossible technical problems systematically, CreateSpace (2010)

Altshuller, G.: The Innovation Algorithm (TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity) Technical Innovation Center, Worcester MA (2007)

Yuri Salamatov - Triz\_ the Right Solution at the Right Time- A Guide to Innovative Problem Solving, Insytec BV (2005)

Victor Fey, Eugene Rivin - Innovation on Demand - New Product Development Using TRIZ, Cambridge University Press (2005)

D. Clausing, V.Fey,: Effective Innovation, ASME Press (2004)

Akao, Y., Mazur, G. H.: The leading edge in QFD: Past, present, and future. International Journal of Quality and Reliability Management, 20 (1), 20-35 (2003)

Chan, L. K., Wu, M. L.: Quality function deployment: A comprehensive review of its concepts and methods. Quality Engineering, 15 (1), 23-35 (2002)

Freddi, A.: Imparare a progettare, Pitagora, Bologna (2002)

- Rantanen, K., Domb, E.: Simplified TRIZ - New Problem-Solving, Application for Engineers and Manufacturing Professionals, St. Lucie Press (a CRC Press Company) (2002)
- R.N. Anthony, D. F. Hawkins, D. M. Macri, K.A. Merchant, "Sistemi di Controllo, analisi economiche per le decisioni aziendali", Mc Graw-Hill, Milano, (2001)
- M. Tovey and J. Owen, "Design Studies", Elsevier Science Ltd, Great Britain, (2000)
- Altshuller, G.: 40 Principles: TRIZ KEYS to Technical Innovation - Technical Innovation Center, Worcester MA (1998)
- Genrich Altshuller - And Suddenly the Inventor Appeared - TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving (1996)
- Terninko, J., Zusman, A., Zlotin, B.: Innovazione Sistemica, un'introduzione a TRIZ. Translated by Sergio Lorenzi (1996)
- Pahl G., Beitz W.: Engineering Design, a Systematic Approach, Springer Verlag, Berlin (1997)
- Altshuller, H.: The art of inventing - And Suddenly the Inventor Appeared, Technical Innovation Center, Worcester, MA. (1994)
- D. Clausing,: Total Quality Development, ASME Press (1994)
- Akao, Y.: QFD: Integrating Customer Requirements into Product Design, Productivity Press, Cambridge MA (1990)
- Altshuller, G.: Creativity as an exact science - The theory of the solution of inventive problems Gordon and Breach Publisher, Amsterdam (1984)