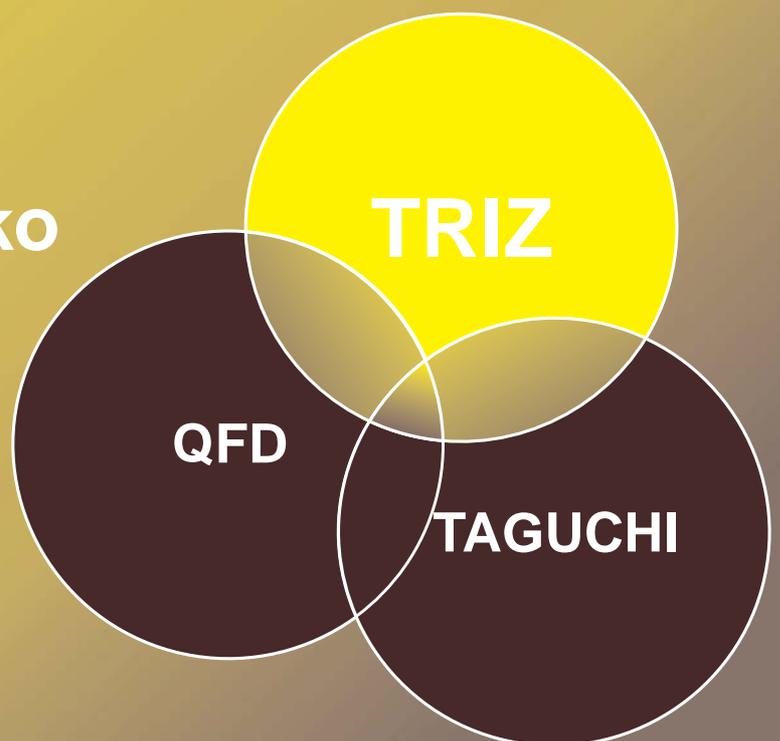


Innovazione Sistematica

Un'introduzione a
TRIZ (teoria per la soluzione
dei problemi inventivi)

John Terninko
Alla Zusman
Boris Zlotin



Traduzione a cura di **Sergio Lorenzi**

Innovazione Sistematica

Un'introduzione a
TRIZ (teoria per la soluzione
dei problemi inventivi)

John Terninko

Alla Zusman

Boris Zlotin

Traduzione italiana di Sergio Lorenzi

Copyright (©) 1996 di Responsible Management, Inc. Tutti I diritti sono riservati

La traduzione italiana di questo libro può essere riprodotta parzialmente o in toto, distribuito in ogni forma e mezzo, includendo fotocopie, registrazione o altri mezzi fisici o elettronici,

A CONDIZIONE CHE:

1. nessun testo o immagine sia alterata;
2. non sia venduto o in nessun modo scambiato per denaro;
3. non sia richiesto nessun compenso per la distribuzione e la facilitazione dei metodi;
4. il copyright e il nome degli autori e del traduttore sia incluso in ogni pagina.

È permessa la stampa e la distribuzione ad uso personale del libro.

Dedica

Questo libro è dedicato a tutti coloro che si impegnano al fine di rendere la vita più creativa.

Note sulla traduzione in lingua italiana

In accordo con l'autore, questo testo è stato tradotto e viene distribuito liberamente in formato elettronico nello spirito con cui Altshuller, il padre di TRIZ, ha voluto sviluppare e diffondere la teoria.

Il lavoro in inglese è stato pubblicato nel 1996. Ogni riferimento temporale deve quindi tenere presente che questo libro, pur mantenendosi sempre fresco per i toni ed i contenuti, è stato scritto 14 anni fa.

La traduzione è stata fatta mantenendo la massima aderenza possibile al testo originario in inglese.

Sono state fatte alcune modifiche, concordate con l'autore, e sono state aggiunte delle note del traduttore, al fine di chiarire meglio alcuni concetti con commenti derivanti dalla esperienza di molti anni di insegnamento della metodologia e di utilizzo degli strumenti.

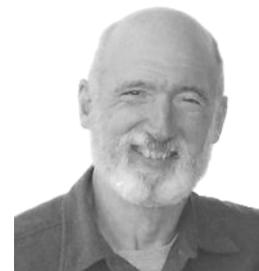
Ogni responsabilità per eventuali errori di traduzione, per il contenuto e le opinioni espresse nelle note del traduttore è esclusivamente mia. Ogni correzione, indicazione o contributo relativo al testo in italiano può essere inviato al traduttore all'indirizzo metodi@soluzioninventive.com

Il traduttore
Sergio Lorenzi

Gli autori

John Terninko

Il Dott. John Terninko è stato uno dei fondatori dell' Altshuller Institute for TRIZ Studies. La sua esperienza di 16 anni di applicazione di TRIZ è integrata con 27 anni di esperienza nel Robust Design (Metodi Taguchi) e con 30 anni di QFD. Ha prestato consulenza ed insegnato in molti settori e aziende grandi e piccole sia per beni di consumo durevoli che non durevoli e in aziende di servizi, inclusa la sanità, con clienti in Asia, Europa e Nord America. Ha scritto 6 libri e presentato 40 papers, è il presidente di Responsible management Inc., è associato a GOAL/QPC ed è uno dei fondatori del QFD Insitute.



Alla Zusman

Alla Zusman è direttore del TRIZ Product Development di Ideation International Inc. È un TRIZ Master con circa 30 di esperienza TRIZ, coautrice di diversi brevetti e di 15 libri e fascicoli su TRIZ (tra i quali 2 con G. Altshuller, il fondatore di TRIZ). È attivamente coinvolta nello sviluppo di TRIZ ad ha insegnato TRIZ a migliaia di studenti in tutto il mondo. I suoi contributi a TRIZ riguardano in special modo studi sull'evoluzione tecnologica, l'adattamento della metodologia TRIZ per gli Stati Uniti, lo sviluppo di nuovi strumenti ed applicazioni del metodo, nonché di molto materiale didattico. È uno dei maggiori sviluppatori delle basi teoretiche per la realizzazione di software basati su TRIZ. Tra le sue precedenti esperienze sono da evidenziare 14 anni di lavoro nella Ricerca e Sviluppo e nei dipartimenti IP di aziende.



Boris Zlotin

Boris Zlotin è il Capo-Responsabile Tecnologico e Vice-Presidente di Ideation International Inc. È un TRIZ Master con oltre 35 anni di esperienza TRIZ, coautore di molteplici brevetti e di 20 libri e fascicoli su TRIZ (tra i quali 4 con G. Altshuller, il fondatore di TRIZ). È largamente riconosciuto nella comunità TRIZ e considerato uno dei principali teorici TRIZ oggi viventi. A suo merito va la maggioranza degli avanzamenti fatti da TRIZ, in particolar modo per lo sviluppo dei modelli evolutivi in diverse aree, per nuove applicazioni e strumenti TRIZ (inclusi software). È stato facilitatore nella soluzione di migliaia di problemi diversi ed ha insegnato TRIZ a migliaia di studenti in tutto il mondo. Tra le sue esperienze precedenti sono da evidenziare i più di 20 anni spesi nella Ricerca e Sviluppo di aziende.



II traduttore



Sergio Lorenzi

Consulente senior per ITM Consulenza e socio di Soluzioninventive, ha lavorato diversi anni nella consulenza direzionale.

Dal 1994 al 1997 ha svolto progetti e tenuto corsi aziendali di controllo di gestione.

Dal 1997 al 2002 ha vissuto e lavorato in Brasile supportando le aziende nel processo di internazionalizzazione. Dal 1998 si occupa di TRIZ e di metodologie a supporto dell'innovazione. Ha partecipato come metodologo a numerosi progetti di innovazione in svariati settori ed è coautore di brevetti realizzati sia in collaborazione con clienti che in proprio.

Formatore e TRIZ-project leader in università ed aziende, tiene regolarmente corsi e seminari sia aziendali che interaziendali. In qualità di profondo conoscitore della materia, ha contribuito alla diffusione e conoscenza della metodologia grazie a incontri presso associazioni, enti ed aziende.

Tra i primi esperti italiani di TRIZ, ha curato per conto dell'IPI (Istituto Italiano per la Promozione Industriale) la parte relativa a TRIZ del libro "INSME - International Network for SME - Handbook on innovative thinking".

Ringraziamenti

Ci sono due espressioni che vorticano nella mia testa quando penso a come ringraziare meglio le persone che mi hanno aiutato nello sviluppo di questo materiale: "Quelli che possono, fanno... - quelli che non possono, insegnano" e "Il miglior modo per imparare qualcosa è insegnarla". Io credo di averne sperimentata una terza: "Il miglior modo di mostrare al mondo che conosci qualcosa è scriverne in modo comprensibile". Questo lavoro è stato una specie di esame finale, datomi da Alla Zusman, mia insegnante, mentore, amica, collega e coautrice, e Boris Zlotin, mio amico, mentore, insegnante, collega e affabile oratore.

Circa 5 anni fa ho sentito parlare di qualcosa chiamato "Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi (TRIZ)". Sempre impegnato nella consulenza su QFD e Taguchi, ho pensato che non potesse offrire nulla di meglio rispetto alla "selezione dei concept" di Stewart Pugh. Ma, grazie a Glenn Mazur, un amico e collega da molto tempo, tre anni fa ho incontrato Zion Bar-El, Alla Zusman, Boris Zlotin ad una presentazione di TRIZ di un giorno. Da quel momento sono caduto nel vortice dello studio e dello sviluppo di un nuovo nodo di vedere il mondo.

Sono molto grato a Zion per la sua abilità di trovare e condividere opportunità ad ogni circostanza.

A Boris va il mio ringraziamento per avermi messo a disposizione tutta la sua conoscenza. Ho apprezzato molto la sua disponibilità nel dedicare tanti giorni alla mia educazione e nel darmi l'onore di essere certificato come il secondo "missionario TRIZ". Boris, che vede un'applicazione di TRIZ in ogni momento della vita, ad ogni respiro spinge la teoria sempre più oltre.

Dana Clarke, il primo ad essere certificato come "missionario TRIZ" ha messo a disposizione il suo anno in più di esperienza TRIZ per aiutarmi nei passaggi più complessi. Sono lieto di poter riconoscere sia la sua abilità che la sua gentilezza.

Moltissimi ringraziamenti ad Alla, che ha impregnato sia la mia conoscenza che questo libro con il suo logico e strutturato approccio a TRIZ.

Vorrei inoltre ringraziare i clienti ed i partecipanti ai corsi che mi hanno dato suggerimenti che sono stati incorporati in questo libro.

Per concludere, ringrazio il team di Maggie Rogers e Mary Ann Kahl. Maggie, con la sua visione della vita assolutamente non tecnica, mi ha aiutato a raggiungere l'obiettivo e merita i ringraziamenti di cuore di tutti noi. Mary Ann, con il suo background più tecnico, ha moderato la mia divagante ispirazione.

Non posso dimenticare Candy, che ha dovuto convivere con i miei strani orari mentre lavoravo a questo libro, e che mi ha caldamente invitato a non scriverne un altro quest'anno.

John Terninko

Prefazione

Ci sono molti modi per aiutare il subconscio ad uscire dai tradizionali schemi mentali. I metodi comunemente accettati per incoraggiare la creatività di gruppo sono sostanzialmente riconducibili al brainstorming e a "Synectics", con alcune altre varianti. Agli individui viene consigliato di lavorare sino ad essere esausti e poi andare a dormire aspettandosi (o sperando) di svegliarsi con una ispirazione.

Sono stati scritti diversi libri su come migliorare la creatività; in questi testi vengono illustrati diverse modalità per sfidare i vecchi paradigmi o ridurre i blocchi mentali, tutti basati sull'idea che *"la conoscenza è il materiale da cui nascono nuove idee. Tuttavia, la conoscenza da sola non rende creativa una persona"*.¹

Il dottor Albert Szent Gyorgyi, premio nobel per la medicina nel 1937, osservò che *"la scoperta consiste nel guardare le stesse cose di tutti gli altri e pensare qualcosa di diverso"*. Una chiave per innovare è rendere nuova una vecchia idea ma, nella ricerca della "giusta soluzione" ad un problema, è importante ricordarsi la filosofia di Emiè Chartier secondo cui *"niente è più pericoloso di un'idea quando è l'unica che hai"*.²

Lo psicologo francese Antwan Ribaut si interessò di creatività e invenzioni e ricercò il filo conduttore del processo creativo.

In uno studio del 1912, dimostrò che la creatività ha un picco attorno a 18 anni e poi decresce per il resto della vita³. Un risultato non incoraggiante per qualsiasi azienda che impieghi persone con più di 18 anni!

Anni dopo Genrich Altshuller, il padre della Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi (TRIZ), replicò gli studi di Ribaut e trovò delle novità ancor più "preoccupanti". Come potete vedere nella Figura 1, il valore del picco di creatività umana stimato da Altshuller verso i 14 anni è inferiore a quello di Ribaut.⁴

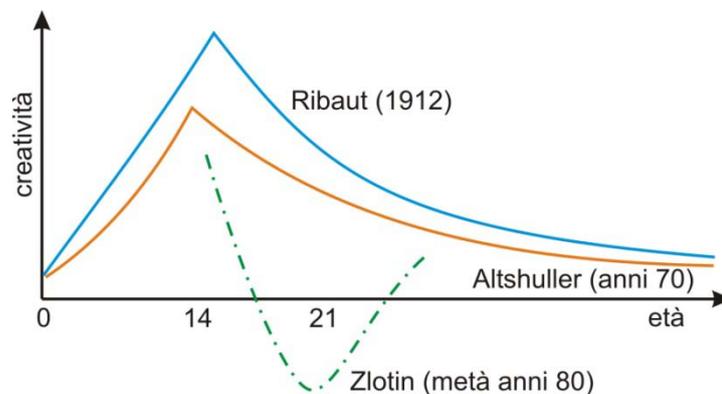


Figura 1. Una comparazione fra le curve di creatività di Ribaut, Altshuller e Zlotin

In uno studio del 1980 effettuato da Boris Zlotin, è stato ipotizzato che questo sia il risultato del sovraccarico di informazioni tipico di quel periodo dello sviluppo dei bambini, unito al "non credere più nelle favole", che sono invece piene di contraddizioni intrinseche. Gli studi di Zlotin hanno inoltre evidenziato come la creatività precipiti al minimo assoluto all'età di 21 anni, inducendo a concludere che il college e l'università riducano la creatività.

Questo dovrebbe spiegarci il fatto che molti studenti ricordino gli insegnanti che incoraggiano le idee originali. In uno stupendo film un nipote va al college con il nonno. Durante una lezione di economia un

giovane docente stava illustrando gli avvenimenti della grande depressione negli Stati Uniti. Il nonno alza la mano dichiarandosi in disaccordo con il professore; lui aveva vissuto il periodo della depressione e la situazione non era come veniva descritta nella lezione. Il nonno viene zittito facendogli notare che lui era lo studente e non l'insegnante, e quindi il docente aveva ragione. Quanti avvenimenti della nostra vita sono solo varianti di questa situazione?

Sebbene possa sembrare appartenere alla categoria delle costruzioni retoriche come "micro-mega" o "giovane vecchio", il concetto di innovazione sistematica non è un ossimoro, anche se apparentemente lo può sembrare. *(l'ossimoro è una figura retorica consistente nel porre vicino due parole di significato opposto. Innovazione e sistematicità possono sembrare in antitesi ma, come si vedrà più avanti, non lo sono. N.d.T.)*

Proprio perché TRIZ si concentra sull'eliminazione delle contraddizioni, l'innovazione sistematica non è solo possibile, ma anche molto efficace. TRIZ offre esempi che portano verso nuove direzioni, trasformando l'inerzia psicologica in un turbine di nuove idee. TRIZ ci scuote, generando spesso anche più idee di quante ne vorremmo.

TRIZ è un nuovo modo di pensare che richiede tempo per essere assorbito. Ognuno dei capitoli che seguono dovrebbe provocare una rottura nel vostro modo di pensare. Prendetevi il tempo necessario per imparare, leggendoli con calma. Imparare un nuovo linguaggio richiede pratica. Esattamente come approfondire la conoscenza di una nuova lingua cambia la nostra percezione del mondo, così l'apprendimento e la pratica del metodo presentato in questo libro cambierà la vostra visione della vita. Vedrete intorno a voi molte opportunità di innovazione, e TRIZ vi offrirà indicazioni su come realizzare queste innovazioni. Sentitevi liberi di mettere da parte il testo, usare quello che avete imparato, e riprenderlo in un secondo momento, quando sarete pronti per il passo successivo. Acquisite fiducia dagli studi che dimostrano che i punteggi di creatività possono aumentare nel tempo. La tabella che segue, sviluppata da Boris Zlotin, illustra i percorsi cognitivi degli adulti, dei bambini e delle menti allenate a TRIZ. Questo libro vuole essere un'introduzione che vi aiuterà a pensare secondo le logiche descritte nella colonna numero 3.

<i>Pensiero adulto</i>	<i>Pensiero dei bambini</i>	<i>Modo di pensare TRIZ</i>
Ha paura delle contraddizioni e vuole evitarle.	Non è sensibile alle contraddizioni e non cerca di evitarle nelle discussioni.	Ama le contraddizioni e le cerca nei problemi. Capisce che la formulazione di una contraddizione è un passo verso la sua soluzione.
Usa un approccio metafisico considerando oggetti, processi e fenomeni separatamente piuttosto che in modo sistematico.	Ha un approccio sincretistico e cerca di connettere tutto con tutto. <i>(il sincretismo è la tendenza a conciliare fra loro elementi eterogenei N.d.T.)</i>	Ha un approccio sistemico e cerca di trovare le connessioni tra oggetti anche remoti, fra processi e fenomeni che spesso sono invece visti come non collegati.
Usa una combinazione non organizzata di vari tipi di deduzioni, spesso applicate in modo errato.	Usa la "abduzione", un tipo di deduzione, errata dal punto di vista della logica classica, dove le deduzioni sono fatte da un fatto specifico ad un altro.	Usa la deduzione per analogia. Usa transizioni di deduzioni, idee e soluzioni tra sistemi (una combinazione organizzata di induzione, deduzione e abduzione).
Segue una combinazione di pensieri logici e intuizioni naturali.	Segue un'innata abilità nel produrre una deduzione intuitiva.	Segue una combinazione di pensiero logico e intuizione stimolata dal metodo.
Ha un concetto di "obbedienza alle leggi", che sono intuitivamente conosciute o verbalizzate	Ha il concetto di "creazione della legge"; ricerca spontaneamente e sviluppa leggi intuitive e verbalizzate	Sviluppa e ricerca in modo mirato le leggi e la verbalizzazione delle leggi intuitive.
Tenta di risolvere problemi difficili al primo colpo. Rinuncia a proseguire in caso di fallimento.	Tenta di cambiare il problema. Se non riesce a risolverlo, modifica di proposito le condizioni e le regole per eliminare il problema.	Tenta di cambiare il problema con un altro problema che possa essere risolto da regole conosciute.

(Il termine originale inglese "traduction" è stato tradotto con abduzione, non conoscendo un termine migliore in italiano. Nel caso la traduzione fosse inesatta, invito i lettori a segnalarmi il concetto italiano corretto. N.d.T.)

I ragazzi sono creativi, ma non hanno la conoscenza necessaria ad inventare. Gli adulti hanno la conoscenza, ma hanno perso la loro naturale creatività. TRIZ può aiutare ad acquisire conoscenza senza perdere immaginazione creativa.

Sommario

1. Introduzione a TRIZ, Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi	1
2. Il Questionario sulla Situazione Innovativa (ISQ)	21
3. La formulazione del problema	37
4. Le contraddizioni	53
5. Il sistema ideale	73
6. La modellazione dei sistemi: l'analisi Sostanza-Campo	93
7. I trend evolutivi	107
8. Implementazione	125
Appendice A: Selezione di effetti e fenomeni fisici	131
Appendice B: I 39 parametri di Altshuller- definizioni	139
Appendice C: I 40 principi – Definizioni ed esempi	143
Appendice D: i 40 principi ordinati per frequenza di utilizzo	151
Appendice E: La matrice delle contraddizioni	153
Appendice F: Caso studio TRIZ: anello di contenimento	161
Appendice G: Risorse	167
Glossario	169
Riferimenti	171
Bibliografia	175

1. Introduzione a TRIZ, Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi

In questo testo la parola "design" è stata spesso mantenuta in quanto non facilmente traducibile. Il termine design, in Italia, viene spesso utilizzato per indicare qualcosa di distinto dalla progettazione; chiamare progettista un designer, è quasi "offensivo" (spero che i designer con cui lavoro non me ne vogliano per questo commento). Il design in Italia è legato a concetti quali estetica, ergonomia, usabilità, etc. Ritengo però che una buona progettazione non possa prescindere dall'ergonomia, dall'usabilità, dall'estetica del prodotto. Anche la scelta del colore può essere buona o cattiva progettazione. Un giubbotto catarifrangente nero opaco non è ... buona progettazione, una allacciatura "complicata" o la scelta di un materiale non traspirante è cattiva progettazione... ma allora si dovrebbe distinguere fra buona progettazione e cattiva progettazione, o fra buon design e cattivo design, non fra progettazione e design.

In ogni caso, laddove in questo testo troverete la parola progetto, progettazione o design, sappiate che fanno tutti riferimento all'inglese design. N.d.T.

Sinergia

Inizialmente il brainstorming e il metodo di Pugh per la selezione delle idee rappresentavano i principali approcci all'innovazione.⁵

Oggi abbiamo a disposizione tre potenti strumenti per migliorare il processo di design di una organizzazione. Il **Quality Function Deployment (QFD)** traduce nel linguaggio degli ingegneri tutte le informazioni rilevanti del cliente, facilitando così la progettazione di un prodotto. Aggiungendo la **Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi (TRIZ)** al QFD si ottengono miglioramenti drastici nell'area dell'innovazione di prodotto e di processo. Tuttavia TRIZ prende come assunto che il problema di partenza sia appropriato e che, per qualche motivo, non si riesca a raggiungere un determinato obiettivo. L'ultimo strumento, la **filosofia di design robusto di Genichi Taguchi**⁶, identifica il valore dei componenti che rendono un progetto in grado di perseguire un obiettivo indipendentemente da influenze non controllabili.

QFD + TRIZ + Taguchi = Innovazione robusta guidata dal cliente

Questo libro presenta una panoramica di un elemento dell'innovazione robusta guidata dal cliente: TRIZ.

L'effetto di questi tre strumenti sulla capacità di un'organizzazione di raggiungere i propri obiettivi è mostrato in figura 1 (*che utilizza per fini diversi un tipico schema del QFD, la House of Quality N.d.T.*). I cerchi pieni mostrano che uno strumento (nelle colonne) ha un impatto significativo sul raggiungimento di un obiettivo (evidenziati nelle righe), quelli pieni per un quarto indicano un impatto moderato, quelli vuoti un impatto debole. La figura evidenzia l'impatto significativo di TRIZ sull'innovazione di prodotto.

Nella parte superiore lo schema mostra le possibili e significative sinergie fra QFD, TRIZ e Taguchi.

Obiettivo	Strumenti		
	QFD	TRIZ	Taguchi
Soddisfazione del cliente	●	○	●
Prodotti di alta qualità	●	●	●
Profitti più alti	●	●	◐
Quote di mercato maggiori	●	●	○
Prodotti innovativi	◐	●	○
Anticipare problemi futuri		●	
Proteggere capitale intellettuale		●	
Inventare la prossima generazione		●	

Figura 1. Le relazioni fra QFD, TRIZ e Taguchi

Sintesi

La parola *sistematico* evoca l'immagine di attività sequenziali che possono essere eseguite ripetutamente per arrivare ad un risultato desiderato. *Innovazione* viene invece spesso associata con creatività, che frequentemente indica un processo imprevedibile e non strutturato. Nonostante ciò il termine "Innovazione Sistemica" non è un ossimoro. Il pilastro della Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi (TRIZ) è la presa di coscienza che le contraddizioni possono essere metodicamente risolte attraverso l'applicazione di soluzioni innovative. Questa è una delle tre premesse su cui è basata la teoria:

- il design ideale è un obiettivo
- le contraddizioni aiutano a risolvere i problemi
- il processo innovativo può essere strutturato sistematicamente

L'assunto che non sia possibile sfruttare e controllare il processo innovativo non solo è limitante, ma anche non corretto. L'ispirazione non deve necessariamente essere casuale. Gli utenti di TRIZ dimostrano continuamente che applicare soluzioni comuni per la risoluzione delle contraddizioni, identificate in problemi simili nel mondo dei brevetti, migliora radicalmente il design di sistemi e prodotti. Una volta che il problema è stato modellato in termini di contraddizione, esistono metodi per la soluzione di queste contraddizioni. Questi metodi evolvono rapidamente e sono disponibili. La chiave per capire come sia possibile l'innovazione sistematica sta nell'individuare le "soluzioni comuni" nei brevetti innovativi di tutto il mondo.

Altshuller mise in discussione le convinzioni generali riguardanti il processo creativo. Nel suo libro "*Creativity as an Exact Science*", Genrich Altshuller cita il drammaturgo Rosoy sull'argomento:

Tutti sanno che l'azione della creatività non è controllabile, non risponde nemmeno allo sforzo più potente o al comando più perentorio. Mi sembra che l'artista ragioni fino al momento della creazione e anche dopo, ma nell'istante dell'atto del creare non rifletta consciamente su di essa⁷.

Rosoy individua il problema che tormenta inventori e artisti: come possiamo controllare dei processi che sembrano eludere la nostra comprensione mentale?

Il brainstorming è una tecnica popolare per catturare le idee che giacciono nel nostro subconscio. Frequentemente i metodi di brainstorming lavorano cercando di farci pensare al problema da una nuova prospettiva. Domande tipiche di questo approccio sono:

- Perché state lavorando a questo problema?
- Cosa succederebbe se volessi ottenere l'effetto/soluzione opposta?
- Cosa succederebbe se il processo fosse più veloce?
- Cosa succederebbe se cambiassimo un elemento?

William Gordon negli anni 60' cercò di sviluppare una tecnica per migliorare il brainstorming: Synectics⁸. Gordon scoprì che esiste una sinergia fra il brainstorming, il pensiero critico ed il pensiero per analogie e che è quindi utile creare una struttura in grado di collegare questi modelli di pensiero. Una tecnica prevede di immaginare di "essere il prodotto" oggetto di indagine e di cercare di immaginare quindi come risolvere il problema "dall'interno". (*un drastico cambiamento indotto del punto di vista sul problema, molto efficace e per questo ripreso anche in TRIZ N.d.T.*)

Tutti questi metodi, eccetto Synectics, hanno una curva di apprendimento rapida e sono comunque più efficaci per risolvere il problema rispetto a dei tentativi casuali (*Trial and Error*). Vero è che Thomas Edison fu un promotore del metodo *Trial and Error*, affermando che "il genio è l'1% ispirazione e il 99% traspirazione"⁹. Val la pena notare però che Edison aveva diverse centinaia di assistenti e fu quindi in grado di effettuare migliaia di tentativi per arrivare ad un'idea.... Utilizzando questo metodo Edison necessitò spesso di oltre 50.000 tentativi prima di ottenere un'invenzione.

La maggioranza dei tradizionali processi per incrementare la creatività presentano un difetto sostanziale: la loro utilità si riduce al crescere della complessità del problema. Il Trial and Error è usato in maggiore o minor grado in ogni processo inventivo, ed il numero dei tentativi necessari aumenta con la difficoltà del problema. La ricerca di alcune soluzioni potrebbe richiedere persino un tempo superiore alla vita dei solutori stessi.

Fu proprio questa la sfida di Altshuller: facilitare la soluzione di problemi complessi e trasmettere questo "processo solutivo" ad altri. La sua determinazione nel miglioramento del processo creativo ha portato alla creazione di TRIZ.

Lavorando per lo sviluppo di una "scienza" della creatività, le domande fondamentali che si pose furono:

- Come può essere ridotto il tempo richiesto per inventare?
- Come può essere strutturato un processo per migliorare la capacità di pensiero innovativo?

Cercando la risposta a queste domande, Altshuller intuì come sia difficile per uno scienziato pensare al di fuori dei propri campi di competenza, in quanto questo tipo di pensiero richiede l'utilizzo di tecnologie e "linguaggi" diversi da quelli usuali. Altshuller (insieme al suo sempre più nutrito gruppo di colleghi) iniziò ad analizzare le soluzioni innovative che emergevano dai brevetti. Identificando percorsi solutivi comuni in

tecnologie differenti, superò il problema della ridotta visione dovuta alla specializzazione e potenziò drasticamente il processo inventivo. Oggi chiunque sia in grado di pensare può essere inventivo... e chi è già inventivo può divenire ancora più efficace. Negli anni 80' Altshuller stimò che fossero stati creati circa un centinaio di istituti TRIZ e "scuole di pensiero". Queste organizzazioni hanno contribuito ad allargare i confini della teoria TRIZ, applicandola con successo alle situazioni reali e identificando nuovi principi attraverso l'analisi dei processi che li avevano portati alle soluzioni.

La storia della teoria TRIZ

Nel 400 a.c. il greco Pappos definì la parola "euristica" come la scienza del fare scoperte e invenzioni. Le parole "scoperta" e "invenzione" hanno esse stesse un significato ampio, includendo il prodotto del lavoro di artisti, politici, generali, etc., ma euristica identifica *un processo per la soluzione dei problemi*. Altshuller diede nuova vita all'euristica attraverso il suo processo per l'innovazione sistematica.

TRIZ è l'acronimo delle parole russe:

Теория Решения Изобретательских Задач

La pronuncia corretta inglese è "triz" (usando l'alfabeto fonetico internazionale. In italiano si pronuncia esattamente come è scritto: TRIZ N.d.T.).

La traduzione in inglese sarebbe "Theory of Inventive Problem Solving", che porterebbe all'acronimo **TIPS** (In italiano sarebbe *Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi, N.d.T.*). Altshuller, nel suo libro "Creativity as an Exact Science" propone la traduzione inglese "Theory of Solution of Inventive Problems" (**TSIP**). Ci sono inoltre organizzazioni che si riferiscono a TRIZ come "**Systematic Innovation**". Una ricerca di informazioni TRIZ sul web dovrebbe utilizzare tutti e quattro i termini. In ogni modo, indipendentemente dalla sigla utilizzata, TRIZ rappresenta uno strumento indispensabile per potenziare l'innovazione e migliorare la progettazione, eliminando la tendenza a raggiungere soluzioni di compromesso generate dai conflitti fra diversi parametri del problema. TRIZ considera invece l'identificazione di conflitti come opportunità di miglioramento del processo di soluzione di problemi.

L'altra faccia della rivoluzione

Altshuller nacque nel 1926 in Unione Sovietica circa 10 anni dopo l'inizio della rivoluzione bolscevica e, fin da piccolo, mostrò una predisposizione per l'innovazione creativa.

Da ragazzo amava nuotare sott'acqua. A soli 14 anni inventò, sviluppò e testò un dispositivo per generare ossigeno a partire dal perossido di idrogeno. Grazie a questo dispositivo era in grado di rimanere più a lungo sott'acqua. Senza saperlo stava già applicando il concetto di risoluzione delle contraddizioni senza compromessi, usando risorse facilmente disponibili.

Per accumulare ossigeno infatti, il gas dovrebbe essere messo sotto pressione o trasformato in liquido. Entrambi i metodi richiedono equipaggiamenti complessi, che non erano disponibili. La soluzione di Altshuller utilizza una trasformazione di fase, da composto liquido (perossido di idrogeno) a gas (fra i quali è presente l'ossigeno). A 16 anni Altshuller ricevette il suo primo Certificato d'Autore per il suo equipaggiamento subacqueo.

Altshuller continuò la sua carriera di inventore sotto il regime di Josef Stalin. In quegli anni in Unione Sovietica c'erano due tipi di registrazioni per le invenzioni. Il brevetto veniva rilasciato raramente così la maggior parte degli inventori richiedeva il rilascio di un certificato d'autore. Il governo Sovietico aveva la proprietà intellettuale documentata dal certificato; in questo modo il certificato altro non era che un riconoscimento del contributo dell'autore. Ironicamente fu proprio la struttura molto semplice e diretta dei

certificati d'autore (vedi figura 2) che facilitò le ricerche di Altshuller sul processo inventivo. L'archivio governativo dei certificati d'autore rappresentò per lui un database di inestimabile valore informativo. Durante lo sviluppo di TRIZ Altshuller e i suoi colleghi analizzarono decine di migliaia di certificati d'autore e brevetti.

Titolo descrittivo	
Immagine del progetto 	Sistema attuale
	Obiettivo dell'invenzione
	Descrizione della soluzione

Figura 2. Uno schema della struttura dei certificati d'autore sovietici

Durante la seconda guerra mondiale Altshuller fu chiamato sotto le armi e, dopo la guerra, fu assegnato alla marina come ispettore delle invenzioni, lavoro che vide come un'opportunità per aiutare gli inventori a trovare soluzioni creative a problemi tecnici.

All'inizio Altshuller cercò nella psicologia delle indicazioni su come sbloccare la creatività degli inventori. Questa ricerca nel comparto delle scienze comportamentali, però, non si rivelò tanto produttiva quanto le indicazioni dei trend inventivi che cominciarono ad emergere dalle migliaia di certificati d'autore che doveva analizzare per svolgere il suo lavoro quotidiano.

Nel 1946 Altshuller decise di creare una nuova scienza dedicata alla teoria delle invenzioni. I risultati ottenuti fino ad allora avevano infatti già fornito delle indicazioni straordinarie. Nel corso dei 2 anni successivi gettò le fondamenta di TRIZ studiando migliaia di certificati d'autore. Questi documenti erano formati da una copertina, una bozza di una pagina e una rapida descrizione del trovato. Questo formato particolarmente semplificato facilitò la ricerca dei modelli solutivi celati nel processo inventivo.

Altshuller identificò i modelli solutivi usati più di frequente nei brevetti più innovativi. Definì inoltre cinque livelli inventivi basandosi sui criteri: "distanza fra la conoscenza necessaria per sviluppare l'idea e campo di competenza dell'autore", "numero teorico di tentativi che sarebbero necessari per generare un'idea di questo tipo" e "sostanzialità del cambiamento introdotto dall'invenzione rispetto al sistema iniziale".

I brevetti che mostravano una semplice modifica del sistema originale venivano classificati ai livelli inferiori; quelli che introducevano delle modifiche apprezzabili nel sistema venivano considerati di livello superiore. Venivano invece classificati come molto inventivi i brevetti che introducevano nel sistema conoscenze e tecniche provenienti da scienze diverse da quelle tradizionalmente legate al sistema. Questo tipo di brevetti innovativi risolvevano delle contraddizioni e spesso mostravano delle ripetitività identificabili lungo certe linee di evoluzione. Le ricerche di Altshuller hanno sostituito l'imprevedibile "Eureka!" dello stereotipato scienziato pazzo o del professore un po' svanito con dei precisi percorsi evolutivi, che possono essere seguiti dai *problem solver* "normali" (vedi Tabella 1).

Tabella 1: Genrich Altshuller (Altov)

Prima invenzione all'età di 14 anni

1946-1948

Studia 200.000 brevetti

Seleziona 40.000 brevetti come campione di soluzioni efficaci

L'evoluzione di un sistema tecnico non è un evento casuale, ma è governato da precisi trend

Inventività e creatività possono essere insegnate

1985

Pubblica 14 libri e centinaia di papers.

Altshuller e l'amico di gioventù Raphael Shapiro furono molto entusiasti dai progressi del loro lavoro. Pur temendone le conseguenze, decisero nel 1948 di dare voce alle loro preoccupazioni sul futuro dell'innovazione in Unione Sovietica con una lettera a Stalin. Espressero pertanto delle critiche al processo di innovazione diffuso nella nazione e fecero delle proposte di miglioramento, offrendo la metodologia TRIZ, sebbene ancora in una forma embrionale. Sfortunatamente il loro patriottismo e le loro idee, seppur valide, non provocarono una reazione positiva. Altshuller e Shapiro furono accusati di "inventare allo scopo di danneggiare il Paese". Dopo un anno di interrogatori e torture furono condannati a 25 anni di campo di prigionia in Siberia.

Quello che doveva risultare un periodo di vita infernale si rivelò invece un periodo di crescita intellettuale e di particolare produttività per Altshuller. Il campo di prigionia ospitava dozzine di professori, scienziati di fama, musicisti ed artisti, tutti imprigionati durante il periodo delle "purghe staliniane". Questo fatto, unito alla disponibilità dei compagni di prigionia ed al desiderio di imparare e di ascoltare di Altshuller, trasformò la sua detenzione in una specie di università privata. La peggiore costrizione era la proibizione assoluta di scrivere; un prigioniero poteva essere picchiato selvaggiamente e messo in cella per il solo fatto di possedere un quaderno per appunti. Malgrado queste difficoltà Altshuller continuò a sviluppare la sua scienza dell'innovazione, grazie alle proprie capacità mnemoniche ed analitiche. Durante il periodo della detenzione Altshuller identificò le leggi di evoluzione dei sistemi tecnologici e i metodi per la risoluzione dei problemi inventivi.

Stalin morì nel 1953. Altshuller e Shapiro furono rilasciati un anno dopo e continuarono a sviluppare le loro idee. Pubblicarono il primo articolo sui principi fondamentali della loro teoria in un'edizione del 1956 del periodico scientifico russo "*The questions of Psychology*"¹⁰. Shapiro scrisse il primo libro su TRIZ ma successivamente perse interesse nello sviluppo del metodo¹¹.

Durante il decennio successivo i risultati della ricerca di Altshuller attrassero molti professionisti provenienti da discipline diverse che adottarono, adattarono ed espansero il metodo; nel 1974 Boris Zlotin ne divenne un attivo sostenitore ed Alla Zusman si unì nel 1981 a questo gruppo di professionisti interessati a TRIZ. Le applicazioni reali del metodo contribuirono alla verifica ed al miglioramento della teoria. Le tecniche per la risoluzione dei problemi furono ulteriormente perfezionate. La metodologia TRIZ venne applicata a diverse aree, a problemi scientifici, di business, di management, etc. Essendo un mezzo per l'educazione alla creatività, TRIZ divenne oggetto di articoli su giornali e periodici, di libri e trasmissioni televisive per l'educazione dei giovani.

Anche dopo la morte di Stalin, l'uso di TRIZ venne contrastato dal "Comitato per gli Affari Inventivi" e dalla "Società degli Inventori": il governo sovietico era restio ad ascoltare un intellettuale ebreo. In uno scenario di questo tipo divenne difficile utilizzare il metodo inventivo anche per le persone più influenti del mondo industriale. Le difficoltà di Altshuller e dei suoi colleghi erano aggravate dall'impossibilità di utilizzare queste tecniche per scopi di lucro. Per guadagnarsi da vivere scrisse, sotto lo pseudonimo di Altov, diverse

storie di fantascienza, trovando anche in questo campo una possibile applicazione di TRIZ come fonte di idee per dispositivi e creature futuribili.

A dispetto di tutte le difficoltà continuò a crescere un forte e fedele gruppo di seguaci. Durante gli anni 70' cominciarono a circolare in Germania ed in Polonia delle traduzioni dei libri e degli articoli di Altshuller. In alcuni casi raggiunsero anche il Giappone, gli Stati Uniti e altri Paesi del mondo occidentale. Lo sviluppo di TRIZ nell'Unione Sovietica accelerò notevolmente con la Perestrojka di Gorbaciov. Le aziende privatizzate, percependo il vantaggio potenziale derivante dall'applicazione di TRIZ in un'economia libera, erano desiderose di utilizzare il metodo per risolvere complicati problemi tecnologici e non.

Nel 1985 i libri scritti da Altshuller erano già più di 14, diversi dei quali in collaborazione con Boriz Zlotin ed uno con Alla Zusman. Solo 2 dei libri di Altshuller sono stati tradotti in inglese. In essi sono descritte le principali scoperte di Altshuller, derivate dallo studio di oltre 200.000 brevetti ed in particolare di circa 40.000 con particolare rilevanza inventiva. (vedi Tabella 2).

Tabella 2: I principali risultati di Altshuller

I livelli di innovazione
Le contraddizioni
Tecniche
I 40 principi inventivi (1956-1971)
I 39 parametri tecnici
Fisiche
I 4 principi di separazione (1979)
Idealità (1956)
Le 76 soluzioni standard
Le leggi di evoluzione
ARIZ (l'algoritmo per la soluzione dei problemi inventivi) (1959-1985)
L'analisi sostanza-campo (Substance-Field Analysis) (1977)

Quando a causa di problemi di salute Altshuller fu costretto a diminuire il proprio lavoro, si concentrò prevalentemente sulla creatività in senso generale. Il compendio di tecniche ricollegabili ad Altshuller nel periodo precedente la sua malattia costituisce quella che è chiamata "TRIZ classica".

Considerando la storia fin qui descritta, è ragionevole chiedersi: "quanto è diffusa TRIZ nella ex Unione Sovietica?". Prima del 1986 c'erano poche opportunità di applicare TRIZ in situazioni reali. I soggetti che cercarono di implementare la metodologia dovettero affrontare molte restrizioni. Molte persone ricevettero una formazione TRIZ ma laddove TRIZ avrebbe potuto mostrare la sua efficacia, ovvero nel business e nell'industria, non c'era la possibilità di creare ed organizzare un network di professionisti. Oggi TRIZ è usato dalle istituzioni finanziarie, nelle scuole private come parte del programma, ed in politica.

Gli statunitensi, sempre pragmatici ed in cerca di modi per migliorare il processo innovativo, e molte organizzazioni sono al lavoro per sviluppare delle competenze interne. Tipicamente i consulenti forniscono la formazione sulla metodologia e dimostrano la sua efficacia generando idee per la soluzione di problemi reali. Le organizzazioni realizzano quindi della formazione interna per risolvere problemi di innovazione senza l'ausilio del consulente. La combinazione di "acquisto di consulenza per i problemi complessi" e di "uso del problema come caso di studio per la formazione interna" risulta essere un efficace mezzo per lo sviluppo della conoscenza interna delle aziende. Diversi esperti di TRIZ, ansiosi di applicare la loro

conoscenza a problemi concreti, sono emigrati dall'est europeo, trovando una buona ricettività nelle aziende degli Stati Uniti.

La Rockwell Automotive ha utilizzato un consulente TRIZ per ridurre da 12 a 4 il numero dei componenti del sistema frenante. Questo miglioramento ha ridotto i costi dei freni di circa il 50%¹². La Ford Motor Co. stava cercando una soluzione ad un problema ai cuscinetti dell'asse di trasmissione, che si spostavano gradualmente dalla loro posizione corretta se sottoposti a carichi pesanti. L'applicazione di TRIZ ha permesso di generare 28 possibili soluzioni. Una delle più interessanti prevedeva l'uso di un cuscinetto con un particolare coefficiente di dilatazione, cosa che avrebbe permesso di trarre vantaggio dalla maggiore temperatura del sistema sottoposto a carichi maggiori. Tanto più fosse stato il carico, tanto più il cuscinetto sarebbe rimasto saldo in posizione.

Una panoramica dei capitoli seguenti

In questo libro vengono presentati gli elementi chiave della TRIZ classica, più due sviluppi successivi. Gli strumenti per applicare questa metodologia possono essere divisi in due gruppi: strumenti analitici per strutturare il problema e strumenti basati sulla conoscenza per permettere la generazione di *concepts* (idee solutive). Durante lo sviluppo di TRIZ Altshuller lavorò sulla soluzione efficace dei problemi, basandosi sull'assunto che il problema identificato fosse corretto. Nelle applicazioni concrete è stato necessario sviluppare un modo per identificare in modo chiaro il problema. Per questo motivo sono stati sviluppati due ulteriori strumenti analitici per la definizione dell'ambiente e la formulazione del problema. I capitoli 2 e 3 descrivono questi strumenti addizionali, mentre la TRIZ classica viene trattata dal Capitolo 4 al 7. Il Capitolo 9 contiene alcune riflessioni sull'implementazione. (vedi Tabella 3)

Tabella 3: La struttura del libro

Capitolo 1	Introduzione alla Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi, TRIZ
Capitolo 2	Questionario sulla Situazione Innovativa (Innovation Situation Questionnaire ISQ)
Capitolo 3	Formulazione del problema
Capitolo 4	Contraddizioni
Capitolo 5	Il progetto ideale, l'idealità
Capitolo 6	Modellazione del sistema, l'analisi Sostanza-Campo
Capitolo 7	I trend evolutivi
Capitolo 8	Implementazione

I professionisti di TRIZ stimano che ad oggi siano stati analizzati oltre due milioni di brevetti nel mondo, con l'obiettivo di identificare modelli solutivi ripetitivi in grado di migliorare ulteriormente il metodo. Le diverse scuole TRIZ e i singoli professionisti stanno continuamente lavorando in questa direzione. Alla scuola TRIZ di Kishinev (*Chisinau N.d.T.*) in Moldavia, Zlotin, Zusman e il loro team nel 1985¹³ hanno iniziato a riorganizzare ed affinare TRIZ (vedi Tabella 4). Dopo aver identificato alcune debolezze nella metodologia esistente, Alla Zusman e Boris Zlotin hanno creato alcuni nuovi strumenti per l'applicazione di TRIZ nelle situazioni reali. Questi due esperti, insieme ad altri specialisti che sono emigrati in occidente, hanno introdotto le loro idee negli Stati Uniti.

Tabella 4: Lo sviluppo di TRIZ

Boris Zlotin, Alla Zusman e i loro associati hanno:

Rivisto e ristrutturato gli strumenti della TRIZ (1992)

Aumentato le "linee evolutive" a più di 250

Migliorato ARIZ (1995)

Creato nuovi strumenti:

Processo di formulazione del problema (Problem Formulator) (1992)

Sistemi di Operatori (Systems of Operators) (1993)

Svilupato applicazioni:

Identificazione Anticipata dei Problemi (Anticipatory Failure Determination - AFD)

Evoluzione Guidata (Directed Evolution DE)

Individuazione di nuove opportunità di sviluppo

Questi nuovi strumenti, uniti a quelli sviluppati nella TRIZ classica, rappresentano per il *problem solver* una cassetta da lavoro piena di attrezzi¹⁴. Il mastro artigiano conosce l'uso di tutti gli attrezzi del suo mestiere e sa quale è il più appropriato per ogni problema. Ad oggi esistono 2 diversi software che permettono di ridurre il tempo necessario alla soluzione dei problemi innovativi. Uno di questi è stato sviluppato da Valery Tsourikov di Invention Machine, azienda con sede a Boston. L'altro è stato sviluppato da Ideation International, che ha sede a Southfield; le tecniche descritte in questo libro seguono prevalentemente le logiche di Ideation International. Il libro, di contro, non vuole essere una descrizione di nessun software, ma ha come obiettivo quello di darvi le basi per risolvere problemi inventivi e di progettazione, indipendentemente da ogni tipo di software e può essere visto come un complemento di entrambi i software.

(nel corso degli ultimi 10 anni sono stati sviluppati altri software a supporto dell'applicazione delle tecniche TRIZ per la risoluzione dei problemi inventivi. Questi software, diversi sia nello scopo che nelle potenzialità e quindi nel prezzo, possono essere facilmente trovati in Internet. Il miglior consiglio che posso darvi è comunque quello di chiedere indicazioni a chi utilizza già il software. La comunità TRIZ è comunque abbastanza disponibile ed aperta. Personalmente ho sempre risposto a chiunque mi chiedesse opinioni ed informazioni su testi, software ed altro. N.d.T.)

Il grado di inventività

Altshuller definì il "problema inventivo" come un problema che contiene almeno una contraddizione. Definì inoltre come "contraddizione" una situazione dove un tentativo di migliorare una caratteristica del sistema porta al peggioramento di un'altra. Dopo avere inizialmente analizzato 200.000 brevetti, Altshuller ne individuò 40.000 come rappresentativi di soluzioni inventive. I restanti riguardavano miglioramenti diretti, facilmente riconducibili al settore di appartenenza del sistema. Suddivise inoltre i brevetti in 5 livelli, a seconda del grado di inventiva (vedi Tabella 5). È importante sottolineare che solo le soluzioni possono essere classificate in uno dei 5 livelli, non i problemi.

Un problema può avere più soluzioni di vari livelli; non è nemmeno detto che una soluzione di livello 3 sia in assoluto migliore di una di livello 1. Tanto più innovative saranno le soluzioni, tanto più resistenze ed ostacoli troverete nella sua accettazione sia a livello aziendale che di mercato. Il vantaggio competitivo che può darvi una soluzione di livello elevato può però giustificare i "costi" per superare le resistenze. N.d.T.

Tabella 5: I livelli di innovazione

Boris Zlotin, Alla Zusman e i loro associati hanno così suddiviso le innovazioni:

1	Soluzioni apparenti o convenzionali Soluzioni ottenute con metodi ben conosciuti all'interno della specialità	32%
2	Piccole innovazioni all'interno del paradigma Miglioramenti di sistemi esistenti, ottenuti spesso accettando compromessi	45%
3	Innovazioni sostanziali all'interno della tecnologia Miglioramenti sostanziali di sistemi esistenti	18%
4	Innovazioni non appartenenti alla tecnologia Idee di nuova generazione, che utilizzano conoscenza proveniente da altre scienze	4%
5	Scoperte Scoperte rilevanti e nuove scienze	<1%

I livelli di innovazione

Tra il 1964 e il 1974 i brevetti in analisi furono valutati due volte per determinare la frequenza relativa dei "livelli di innovatività". Le percentuali mostrate sono di quel periodo. Non sono state effettuate analisi più recenti.

Il **livello 1** rappresenta il 32% dei brevetti di invenzione e mostra soluzioni ovvie provenienti esclusivamente da poche evidenti alternative. Non si tratta di invenzioni ma di piccole aggiunte o miglioramenti del sistema esistente che, sostanzialmente, rimane invariato. Solitamente viene migliorata o rafforzata una particolare caratteristica. Esempi di soluzioni di livello 1 possono essere: l'aumento dello spessore delle pareti per migliorare l'isolamento di una casa, o l'incremento della distanza fra gli sci anteriori di una motoslitte per migliorarne la stabilità. Queste soluzioni possono rappresentare una buona azione di ingegneria, ma le contraddizioni non sono state identificate e risolte.

Le soluzioni di **livello 2** offrono piccoli miglioramenti a un sistema esistente riducendo una contraddizione intrinseca ma accettando ancora degli ovvi compromessi. Queste soluzioni rappresentano il 45% delle invenzioni. Il miglioramento è di norma ottenibile dopo qualche centinaio di tentativi (*Trial and Error*) e richiede la conoscenza di un singolo campo della tecnologia. Il sistema esistente cambia pochissimo ed aggiunge nuove caratteristiche che portano a determinati miglioramenti. Il nuovo sistema di sospensione tra l'elemento cingolato e la struttura di una motoslitte è un'invenzione di livello 2. L'uso di un piantone dello sterzo regolabile per permettere a più persone con corporature differenti di guidare agevolmente l'automobile è un altro esempio di invenzione di questo livello.

Le soluzioni di **livello 3** migliorano il sistema esistente in modo significativo e rappresentano il 18% dei brevetti. A questo livello viene risolta una contraddizione interna del sistema, spesso attraverso l'introduzione di elementi interamente nuovi. Questo tipo di soluzione potrebbe richiedere diverse centinaia di idee, test e tentativi (*Trial and Error*). Esempi potrebbero essere la sostituzione della trasmissione standard di un'auto con una automatica, o l'introduzione di un elemento frizione su un trapano elettrico. Queste invenzioni solitamente riguardano l'uso di tecnologie appartenenti ad altri settori, non ampiamente conosciute nel settore in cui viene fatta l'innovazione. La soluzione rappresenta un cambiamento di paradigma e viene individuata fuori dalle idee e principi generalmente accettati dal settore.

Le soluzioni di **livello 4** si trovano nella scienza, non nella tecnologia e rappresentano il 4% delle invenzioni. Per queste soluzioni sono richieste decine di migliaia di tentativi casuali. Le soluzioni si trovano

al di fuori dei normali paradigmi della tecnologia e prevedono l'uso di un principio totalmente differente per realizzare la funzione principale. Nelle soluzioni di livello 4 la contraddizione è eliminata poiché la sua esistenza è impossibile nel nuovo sistema. Le idee di livello 4 utilizzano effetti fisici e fenomeni che erano praticamente sconosciuti nell'area di appartenenza del problema originario. Un semplice esempio potrebbe essere l'uso di materiali a memoria termica (metalli con memoria di forma) per un anello per le chiavi. Invece di introdurre o estrarre una chiave forzando l'anello ad aprirsi, l'anello viene messo in acqua calda. La memoria del metallo fa aprire l'anello, permettendo una facile introduzione della chiave. Alla temperatura ambiente l'anello si chiude. Un altro esempio è la pulizia superficiale o la sbavatura per cavitazione causata da ultrasuoni. Sulla superficie da pulire vengono generate delle microesplosioni grazie all'uso opportuno di ultrasuoni.

Le soluzioni di **livello 5** si trovano al di fuori dei confini della conoscenza scientifica contemporanea. Sono il risultato di ricerche pionieristiche e rappresentano meno dell'1% delle invenzioni. Questo tipo di scoperte richiede una vita di dedizione e la realizzazione di decine, centinaia di migliaia di tentativi (*Trial and Error*). Innovazioni di questo livello si concretizzano quando un nuovo fenomeno viene scoperto ed applicato al problema inventivo. Soluzioni di livello 5, come il laser ed il transistor, creano nuovi sistemi e nuovi settori. Una volta che la scoperta di livello 5 diviene nota, ne conseguono invenzioni che appartengono a uno dei livelli più bassi. Ad esempio il laser, tecnologia straordinaria per gli anni 60', ora è usato quotidianamente nei puntatori durante le presentazioni o negli strumenti per le misurazioni a terra. Nel 1995 un proprietario di casa poteva comprare un apparecchio laser delle dimensioni di una saponetta per misurare distanze fino a 7 metri. Questa evoluzione nel settore dei laser mostra che il livello inventivo di una soluzione è dipendente dal tempo. (*Personalmente ritengo che più che dipendere dal tempo in sé, il livello inventivo di una soluzione dipenda dall'evoluzione di altre tecnologie parallele e accessorie. N.d.T.*)

Altshuller focalizzò le proprie ricerche sui principi usati nei livelli 2, 3 e 4. Le soluzioni di livello 1 furono ignorate in quanto non richiedono capacità innovativa. Quelle di livello 5 sono poche, richiedono di indagare un nuovo fenomeno naturale; questo riduce drasticamente la possibilità di evidenziare parallelismi e ripetitività.

Altshuller era convinto però di poter aiutare chiunque a sviluppare invenzioni di livello 2, 3 o 4. Il suo desiderio di sviluppare questa scienza dell'innovazione ispirò lo studio di centinaia di migliaia di brevetti. Grazie a questi sforzi Altshuller riuscì inizialmente ad identificare 40 principi ripetutamente utilizzati per la risoluzione delle contraddizioni tecniche.

Anche l'inventore più entusiasta deve essere conscio che esiste una differenza fra il ritmo di cambiamento della società e quello del progresso tecnologico. La differenza fra i due ritmi rende più difficile il successo delle innovazioni di più alto livello. Nel libro *And suddenly the inventor appeared*, Altshuller scrive: "Se si sceglie di sviluppare un sistema tecnologico totalmente nuovo quando quello vecchio non ha esaurito il suo sviluppo, il cammino verso il successo e l'accettazione da parte della società è duro e lungo. Non è facile realizzare con successo un sistema che sia molto in anticipo sui tempi. E il compito più difficile è quello di provare che un nuovo sistema è possibile e necessario"¹⁵ In altre parole l'inventore deve essere cauto poiché progetti troppo innovativi potrebbero non essere accettati dal pubblico e ci potrebbero essere limiti nella possibilità di supportare lo sviluppo dell'idea. L'introduzione di molti miglioramenti incrementali in un sistema esistente è una strategia migliore. La reazione iniziale all'introduzione del radar durante la Seconda Guerra Mondiale mostra quale sia la risposta più comune alle nuove invenzioni. Il radar aumentava drasticamente la capacità dell'equipaggio dei sottomarini di accorgersi dell'arrivo di un aeroplano. I comandanti dei vascelli di una delle nazioni belligeranti si rifiutarono però di utilizzare le nuove apparecchiature installate. Proprio il fatto di rilevare un maggior numero di aerei spinse i capitani a dedurre erroneamente che fosse proprio il radar ad attrarre gli aerei. Al giorno d'oggi la loro reazione può sembrare strana, ma esemplifica molto bene la resistenza iniziale delle persone all'innovazione tecnologica. (*in*

realità oggi l'utilizzo del radar da parte dei sottomarini è "centellinato", come per tutte le misure di ricerca "attive". L'evoluzione delle antenne ESM (Electronic Support Measure) permette effettivamente agli avversari di localizzare la direzione e la tipologia degli impulsi radar, consentendo la triangolazione della posizione del vascello e la sua classificazione. I comandanti dei sottomarini avevano dunque ragione a rifiutarsi di utilizzare il radar? No, allora avevano torto perché le antenne ESM non esistevano ancora. Preveggenza o semplice inerzia psicologia e resistenza di fronte al nuovo? N.d.T.)

Per fare un esempio più recente: pensate che i primi programmatori di computer "non vedevano alcuna ragione per dotare i computer di monitor". In questo esempio possiamo vedere due errori fondamentali: non anticiparono le necessità dei clienti e non riuscirono ad intuire la potenziale utilità del monitor nemmeno per se stessi.

Le invenzioni di livello 1, 2 e 3, sono in genere trasferibili da un settore all'altro. Ciò significa che il 95% dei problemi inventivi di qualsiasi campo sono già stati risolti qualche altro campo o settore. La maggior parte dei brevetti rientra in una delle quattro principali tecnologie: meccanica, elettromagnetica, chimica e termodinamica. Pensiamo a quanta conoscenza ha un individuo e poi pensiamo a quanta conoscenza c'è in un'azienda, in un settore, nella società, nell'universo (vedi Figura 3). Se la base di conoscenza del ricercatore copre tutte le informazioni di un settore, questo sarà in grado di generare un numero inferiore di idee rispetto al ricercatore che conosce tutto ciò che è noto al mondo intero.

Il livello di innovazione in un particolare campo può essere classificato con un range fra 1 (conoscenza personale) e 5 (conoscenza universale). La conoscenza universale rappresenta l'insieme di tutte le informazioni note. Un fondamentale cambiamento di paradigma per un ingegnere meccanico che sta lavorando ad un problema potrebbe provenire dai figli, utilizzando un'informazione appena recepita in un corso di chimica. In modo simile il livello di innovazione aumenta quando l'inventore si sposta al di fuori dei suoi normali campi di indagine.

Un metodo in grado di ridefinire un problema allo scopo di spostarlo ad un livello più basso, in relazione alla posizione della soluzione nel suo percorso evolutivo, faciliterà la generazione di idee migliori in minor tempo. Un problema di alto livello trasformato in uno di livello 1 spesso conterrà indicazioni estranee al solutore o che vanno oltre la sua comprensione. Per esempio, se l'indicazione "ridurre l'effetto di una forza centrifuga" è da applicare in un contesto in cui un liquido deve generare una pressione diretta verso l'asse di rotazione piuttosto che verso le pareti esterne, il *problem solver* potrebbe pensare di essere di fronte ad un'idea che viene da un altro pianeta.

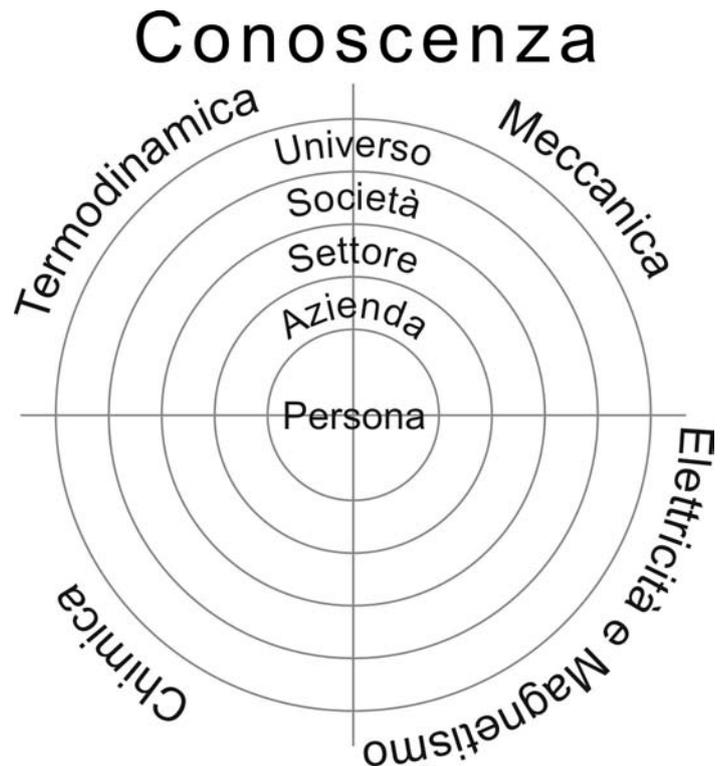


Figura 3. L'espansione della conoscenza

Poche persone conoscono il fenomeno conosciuto come “effetto Weissenberg” per i materiali che hanno una particolare struttura interna. Questo fenomeno non è insegnato in molti corsi di fisica. In un'intervista per questo libro, un professore senior di 50 anni dichiarò di essere totalmente all'oscuro dell'esistenza di qualsiasi liquido che tenda ad aderire all'asse di rotazione invece di essere proiettato all'esterno dalla forza centrifuga. Ogni persona che abbia mai usato una macchina per impastare il pane avrebbe potuto osservare, invece, che l'impasto risale lungo l'asse di rotazione, in quanto la struttura delle cellule di lievito si allunga in direzione dell'asse di rotazione. Una fonte di informazioni che raccolga tutti gli effetti particolari della fisica e della chimica sarebbe molto utile. Attualmente l'unica fonte di informazioni di questo tipo in inglese è rappresentata da software.

I problemi inventivi sono spesso trattati erroneamente alla stregua di problemi di ingegneria, tecnologia e di progetto. L'inventore ha invece il compito di risolvere problemi *eliminando le contraddizioni*. Questa è la differenza fondamentale tra il loro lavoro e quello di altri che lavorano nel processo di progettazione. Solo dopo che è stato trovato il *concept* o la soluzione inventiva diviene necessario usare le capacità di ingegneri, tecnologi e progettisti. Il loro è il lavoro che trasforma un *concept* nel prodotto finito che vuole il cliente.

Un altro fattore che influenza negativamente lo sviluppo di innovazione è l'inerzia psicologica. Chi fa ricerca ha delle proprie direttrici preferenziali di osservazione, quasi come se esistesse un vettore lineare localizzato nel proprio campo di specializzazione, o negli immediati dintorni. Visto che ogni professionista ha un minimo di conoscenza in altre discipline, l'immagine di un vettore lineare potrebbe essere sostituita da quella di un cono che include pezzi di altre discipline all'interno di uno spazio di ricerca accettabile. L'inerzia psicologica genera un'influenza sui ricercatori, spingendoli a muoversi nella stessa direzione seguita in passato in altre indagini andate a buon fine. Questa situazione ricorda molto quella di un topo da laboratorio che cerca di fare un solo percorso nel labirinto della conoscenza mondiale.

Il concetto di inerzia psicologica può far ricordare una famosa barzelletta nella quale si racconta di una autista che cercava le chiavi della macchina per strada, sotto un lampione. Uno straniero si offre di aiutarlo e dopo un po' di tempo gli chiede dove pensa di aver perso le chiavi. L'autista risponde: “sono cadute nella zona all'ombra dell'auto, ma le cerco qui perché la luce è migliore”. Se guardate nel posto sbagliato, non troverete mai idee innovative. I processi che supportano la creatività aiutano a vedere le molte ramificazioni che partono da una tecnologia, ma non danno accesso a soluzioni che esistono in altre tecnologie. Ovviamente molto dipende dalla composizione del team. La Figura 4 mostra l'inutilità del guardare nella direzione sbagliata: non importa quanto sia sofisticato il processo che usate, non vi permetterà comunque di trovare un concetto che si trova al di fuori dell'area di ricerca.

Molte direttrici di ricerca diventano possibili utilizzando la tecnica di brainstorming introdotta da A. Osborne negli anni 40'.¹⁶ Attraverso il riconoscimento del fatto che un team di *problem solving* è composto da “generatori di idee” e da “critici di idee”, Osborne creò una struttura utilizzando entrambe le capacità. Viene dato ad ogni idea un certo tempo per poter essere presentata. Questo periodo di tempo permette alle idee



Figura 4. Una ricerca nella direzione sbagliata

del subcosciente di penetrare le difese della più conservativa parte cosciente della mente. Un approccio di questo tipo migliora la ricerca casuale, ma si dimostra efficace solo nella generazione di innovazioni di livello 1 e 2.

La debolezza dei diversi approcci alla creatività diviene ancora più evidente quando differenti tecnologie vengono incluse nello spazio di fattibilità, come è possibile vedere nella figura 5.

La creazione di un team interdisciplinare genera anche numerose difficoltà. È virtualmente impossibile avere competenze appartenenti a tutte le aree rilevanti e fare in modo che tutti i membri sappiano tutto sulle diverse aree.

Prendete ad esempio uno qualsiasi dei progetti sui quali avete lavorato in passato o sul quale state lavorando; segnatevi le aree di esperienza e la profondità della conoscenza dei membri del team. Molto probabilmente noterete che ci sono diverse aree rilevanti che non sono coperte dal team e che la profondità delle conoscenze dei membri ha comunque un limite.

Risolvere problemi sarebbe molto più semplice se si potesse trovare ed affittare il giusto solutore o un sostituto. Questo equivale ad assumere un consulente specializzato. Ma come si fa ad identificare quale è il consulente da assumere? *(e soprattutto, specializzato in cosa? È spesso la problematica principale da affrontare quando si ricorre al supporto delle università o di società di consulenza specializzate in un determinato settore della tecnologia. N.d.T.)*. La scelta stessa dello specialista richiede la previa identificazione della specializzazione che

vi serve per risolvere il problema, che è proprio uno dei primi passi del processo di ricerca di soluzioni per il quale lo state assumendo! La buona notizia è che quando conoscerete la specializzazione tecnica che vi serve, non avrete probabilmente più bisogno dello specialista, in particolar modo se avrete utilizzato il processo di formulazione del problema descritto nel Capitolo 3.

(Sulla base della mia esperienza, una volta individuata la specializzazione che può portarvi all'innovazione, vi suggerisco di ricorrere ad esperti di quella materia, evitando di dover divenire voi esperti. Avendo però un obiettivo definito e chiaro, potrete utilizzare gli esperti in modo efficace ed efficiente. N.d.T.)

Genrich Altshuller era guidato dalla convinzione che "il potenziale creativo di un inventore cresce con la disponibilità di conoscenza". L'uso dei principi fondamentali da lui individuati aumenta la conoscenza a disposizione del *problem solver*. Inizialmente Altshuller sintetizzò queste informazioni nei 40 principi per la soluzione delle contraddizioni tecniche fra 39 parametri tecnici.

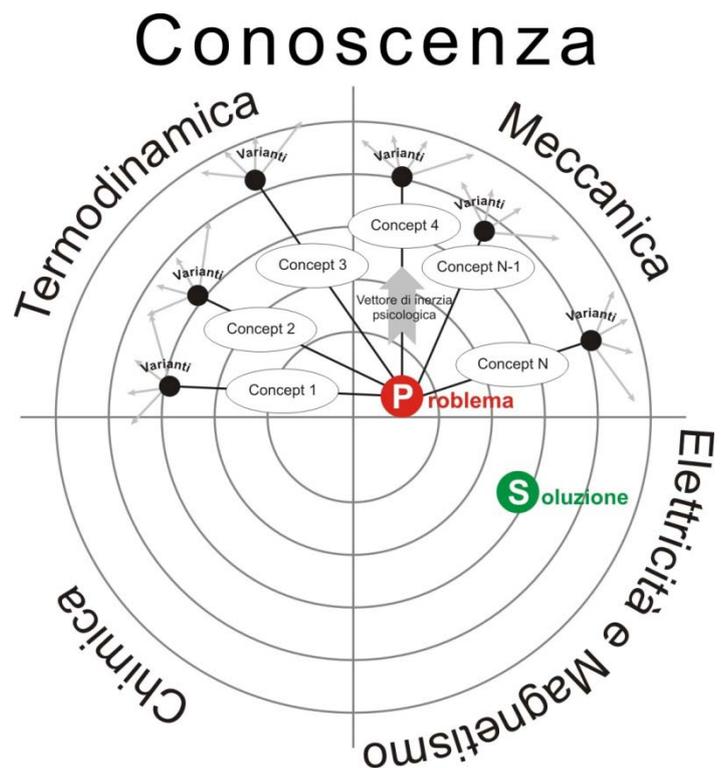


Figura 5. Aggiungere tecnologie diverse non aiuta una ricerca non correttamente direzionata

Soluzioni trasferibili fra modelli di innovazione

Durante la ricerca nel database dei brevetti, Altshuller intuì che gli stessi problemi di fondo (contraddizioni) erano stati risolti da numerose invenzioni in diverse aree tecnologiche. Questo fatto diveniva ancora più evidente se i problemi venivano presentati utilizzando una terminologia scevra dal gergo tecnologico specifico. Osservò inoltre che le stesse "soluzioni fondamentali" (*prese nella loro essenza fondamentale, astratte dal contesto specifico di riferimento N.d.T.*) erano state usate molte volte, e che la loro implementazione in settori diversi spesso avveniva solo dopo molti anni. Se gli inventori avessero modo di utilizzare un qualche tipo di strumento per accedere a queste soluzioni fondamentali, sicuramente diminuirebbe il numero di anni fra una applicazione e l'altra. In questo modo il processo innovativo diverrebbe più efficiente, il tempo che trascorre fra un'innovazione e l'altra si ridurrebbe ed il confine che separa le diverse tecnologie sarebbe superato più spesso. Proviamo ad analizzare alcune invenzioni che usano tutte lo stesso principio, un principio che non era stato inizialmente considerato da un produttore di diamanti artificiali.

Un'azienda produttrice di diamanti industriali deve spezzare i cristalli nei punti di frattura per produrre dei diamanti che siano utilizzabili. Sfortunatamente questo processo spesso porta alla creazione di nuove fratture. Un team di innovazione di processo composto da ingegneri del settore non sarebbe probabilmente portato ad indagare fra i brevetti del settore agricoltura in cerca di possibili idee. Cosa ancora più importante, gli attuali database dei brevetti non sono organizzati in modo tale da permettere una facile ricerca; sarebbe infatti utile poter cercare i brevetti classificati secondo la logica di "metodi per distruggere oggetti, per far esplodere oggetti, per far volar via oggetti", etc. Altshuller classificò i brevetti secondo una logica che aumenta la possibilità di innovare. Eliminando l'aspetto tecnico specifico, trovò che lo stesso problema era stato risolto molte e molte volte. Con un limitato numero di principi era possibile spiegare la maggioranza delle invenzioni. Se il team di sviluppo per la rottura dei diamanti avesse guardato al settore dell'agricoltura o avesse avuto accesso al database di Altshuller, avrebbe trovato le seguenti soluzioni innovative.

Invenzione 1. Metodo per inscatolare i peperoni

Prima di inscatolare i peperoni il picciolo ed i semi devono essere separati dal guscio. Prima dell'invenzione descritta di seguito questa operazione era fatta manualmente. L'automazione era difficile, dato che i gusci non sono uniformi per forma e dimensione.

L'innovativo metodo per inscatolare i peperoni inizia mettendo il peperoni in un contenitore ermetico. La pressione viene gradualmente aumentata fino a circa 8 atmosfere. Il guscio subisce una pressione e questo porta alla frattura nel punto più debole (dove il guscio si unisce al picciolo). L'aria penetra quindi nel guscio dalla frattura che si è creata, fino a che la pressione interna ed esterna diventano uguali. La pressione nel contenitore viene poi bruscamente ridotta. Il guscio esplose nel suo punto più debole (ulteriormente indebolito dalle fratture precedenti) ed il picciolo viene espulso insieme con i semi (vedi Figura 6).

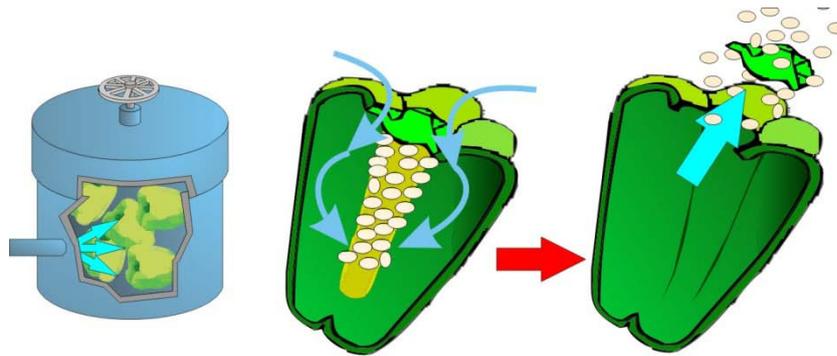


Figura 6. Metodo per togliere i semi dai peperoni

Invenzione 2. Sbucciare i semi di cedro

Il processo per sgusciare i semi di cedro è concettualmente simile. I semi vengono messi in acqua in una pentola a pressione. Il contenitore viene scaldato finché la pressione non aumenta di diverse atmosfere. La pressione viene quindi velocemente abbassata ad 1 atmosfera. Dopo il riscaldamento, l'acqua in pressione entra nei semi, l'improvviso sbalzo di pressione rompe il guscio e lo fa volare via (vedi Figura 7).

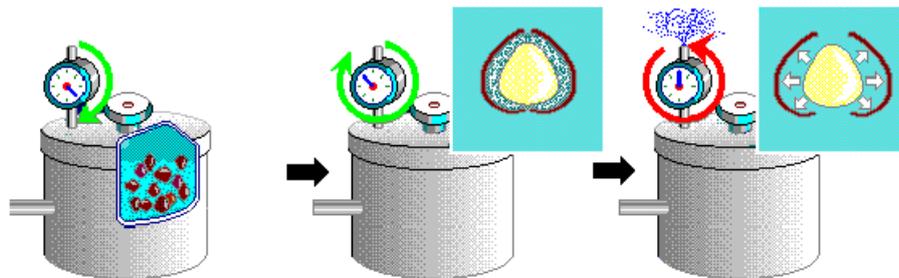


Figura 7. Sbucciare i semi di cedro

Invenzione 3. Sbucciatura dei semi di girasole

Vi siete mai chiesti come vengono sbucciati i semi di girasole? Un metodo per farlo consiste nel metterli in un contenitore a tenuta, aumentare la pressione interna e poi farli fluire dal contenitore (vedi figura 8). Lo sbalzo di pressione è molto rapido e l'aria in pressione che era precedentemente penetrata sotto il guscio si espande, rompendo quindi il guscio stesso.

Invenzione 4. Produzione di polvere di zucchero

Una tecnica simile che utilizza pressioni inferiori viene utilizzata per rompere i cristalli di zucchero e ridurli in polvere.

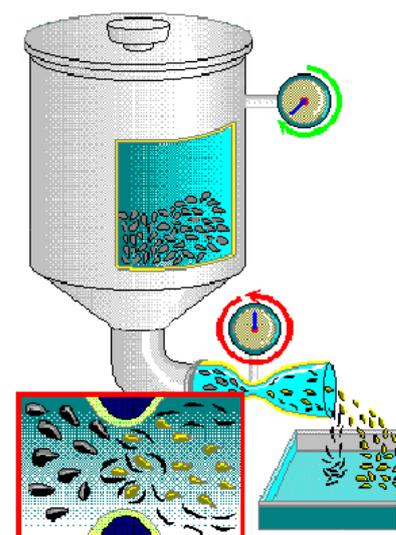


Figura 8. Sbucciatura dei semi di girasole

Consideriamo ora una applicazione del principio non appartenente al settore dell'agricoltura.

Invenzione 5. Pulizia di un filtro

Un filtro per rimuovere la polvere dall'aria è fatto da un tubo le cui pareti sono ricoperte da un materiale poroso simile al feltro. Quando l'aria passa nel tubo, le particelle di polvere vengono intrappolate all'interno dei pori. La pulitura di questo tipo di filtri è difficile. Tuttavia il filtro può essere pulito togliendolo dal sistema, chiudendolo e inserendo una pressione che va dalle 5 alle 10 atmosfere, togliendo poi di colpo la pressione. L'improvviso cambiamento di pressione spinge l'aria fuori dai pori insieme alla polvere. Le particelle di polvere sono trasportate verso la superficie del filtro dove possono essere facilmente rimosse. (vedi Figura 9).

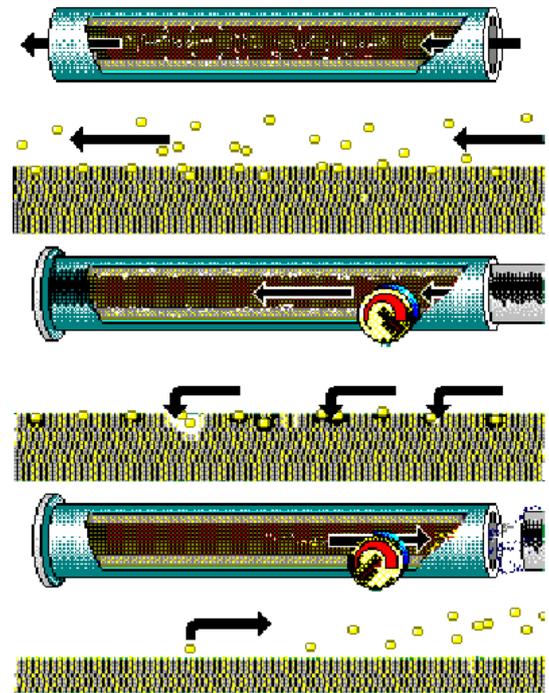


Figura 9. Pulizia di un filtro

Queste cinque invenzioni sono state realizzate in 2 diversi settori in molti anni. Se gli ultimi inventori avessero conosciuto le precedenti idee/soluzioni, il loro compito sarebbe stato molto più facile e veloce. Sfortunatamente le barriere interdisciplinari non rendono disponibili queste informazioni. Gli sforzi per risolvere il problema della rottura dei diamanti sarebbero potuti essere inferiori se i ricercatori avessero letto uno qualsiasi dei brevetti di cui sopra. È importante notare che il principio adottato è lo stesso, ma il design del sistema e le modalità di realizzazione sono differenti. La creazione di *concepts* è il compito dell'inventore, mentre la progettazione del sistema è responsabilità dei progettisti.

6. Spaccatura dei cristalli imperfetti

Il produttore di diamanti, alla fine, ottenne un brevetto per la seguente soluzione. I cristalli vengono posti in un contenitore a tenuta dalle pareti particolarmente resistenti. La pressione del contenitore è aumentata fino ad alcune migliaia di atmosfere e quindi rapidamente riportata alla normalità. Questo improvviso cambiamento di pressione permette all'aria penetrata nelle fratture di rompere il cristallo.

Le applicazioni presenti e passate di TRIZ usano principi comuni a varie discipline. La Ford Motor Co., per esempio, ha utilizzato TRIZ molte volte, in particolare nell'area dei test di affidabilità. Mike Lynch, supervisore dei sistemi di affidabilità nel Advanced Vehicle Technology, dichiarò: "Dovete essere in grado di dimenticarvi il fatto che questo sia un peperone e non un paraurti. Non è questa la questione. La questione è il cambiamento di pressione e la rimozione della ruggine dai paraurti. Come ingegnere e scienziato devi trovare la correlazione".¹⁷ I commenti di Lynch sottolineano come l'allargamento della conoscenza possa migliorare il processo creativo.

Dopo aver visto le possibilità di TRIZ, un ingegnere appartenente ad una azienda multinazionale disse: "E allora? Tutto quello che avete fatto è stato generare svariate idee creative. Avere le idee è solo una piccola parte del lavoro". Questo ingegnere aveva ragione. Tutto quello che TRIZ può fare è generare molte idee innovative (spesso brevettabili). Il duro lavoro dell'individuare le condizioni operative corrette e i materiali può e deve essere fatto successivamente. Nell'esempio della rottura dei diamanti, le 8 atmosfere utilizzate

per i peperoni non sarebbero state sufficienti. Devono essere realizzati test e prove per determinare il livello ideale di pressione e la velocità con la quale toglierla per ottenere i migliori risultati.

Sebbene l'impressione che "tutto quello che TRIZ può fare è generare idee creative" sia corretta, l'ingegnere non ha considerato un fattore molto importante. Per problemi di livello 1 l'uso di TRIZ può rivelarsi non rilevante, ma il tempo necessario per trovare idee di livello 2, 3 e 4 è decisamente e significativamente superiore senza TRIZ. Avere la migliore idea vuol dire ottenere un significativo risparmio di tempo e di costi nel processo di progettazione di una soluzione.

Altshuller affermò che la conoscenza contenuta nelle invenzioni dovrebbe essere estratta, strutturata e generalizzata, al fine di permettere un facile accesso da parte degli inventori di ogni area. Ad esempio, tutte le cinque invenzioni mostrate precedentemente potrebbero essere descritte in questi termini più generali:

Mettere un certa quantità di peperoni, semi, cristalli, etc. in un contenitore a tenuta, aumentare gradualmente la pressione, togliere velocemente la pressione. Il principio sotteso è che un improvvisa caduta di pressione crea un'esplosione che rompe un oggetto. Questo concetto è uno dei tanti metodi possibili per causare una esplosione secondo la metodologia TRIZ (vedi l'appendice A).

Il metodo per togliere i semi dai peperoni fu brevettato nel 1968; il processo per la sbucciatura dei semi di cedro fu brevettato solo nel 1986. Il brevetto per la rottura dei diamanti fu rilasciato ancora più tardi. Perché devono esserci questi lunghi intervalli di tempo fra le innovazioni visto che la scoperta di questo tipo di processo è stata fatta indipendentemente in diversi settori?

La conoscenza generale prodotta da soluzioni come queste potrebbe essere organizzata e utilizzata così come mostrato nella Figura 10. Gli inventori potrebbero confrontare i propri problemi con modelli di problemi simili. I possibili modelli di soluzione ai modelli di problema potrebbero essere quindi applicati ai problemi specifici. Attraverso questo processo TRIZ accumula esperienza di innovazione e fornisce un accesso alle soluzioni più efficaci, indipendentemente dal settore di provenienza. L'approccio tradizionale alla creatività è quello di cercare di passare dal "mio problema specifico" alla "mia soluzione specifica"; ma ogni tentativo di questo tipo può portare ad un numero senza fine di tentativi casuali. Quello che sembra essere un approccio "diretto" potrebbe non portarvi all'obiettivo nemmeno in una vita intera.

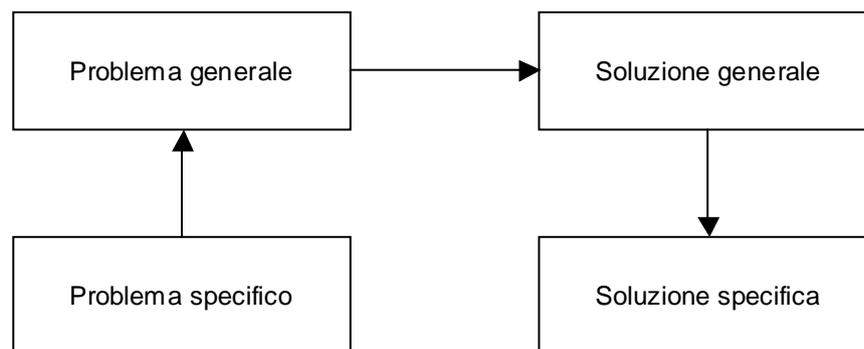


Figura 10. Organizzare ed usare la conoscenza generale

Un approccio alternativo può condurvi a tradurre il processo inventivo in un "normale" processo ingegneristico, portando il problema ad un livello di astrazione più elevato (vedi Figura 11). Stan Kaplan utilizza nel suo libro¹⁸ l'esempio delle equazioni di secondo grado. Un processo basato sul *Trial and Error* sarebbe decisamente lento e impreciso. Quando esiste più di una soluzione ad un problema, diviene difficile trovare un processo efficiente di ricerca in grado di generare tutte le soluzioni possibili. Una volta

trovato un modello preciso di soluzione, non è più necessaria l'approssimazione. Il vostro problema probabilmente non sarà una semplice equazione di secondo grado, ma il metodo che stiamo proponendo è simile al processo per la soluzione di queste equazioni... è un esempio di analogia per illustrare il "pensiero per analogie".

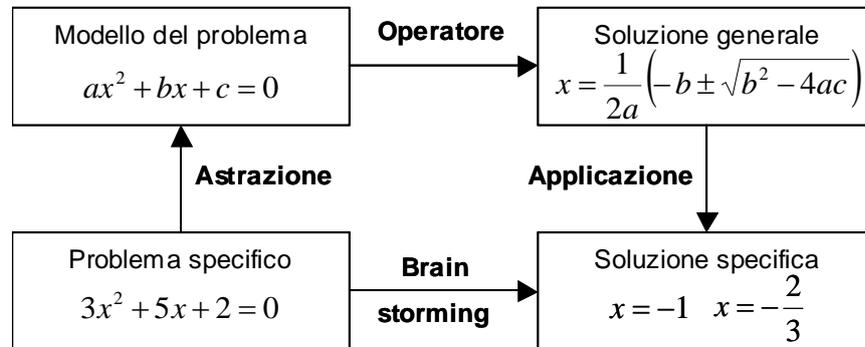


Figura 11. trasformare il processo inventivo in un normale processo ingegneristico

La *matrice delle contraddizioni* del Capitolo 3 contiene 1.201 problemi "per analogia" (*modelli di problemi N.d.T.*). Uno dei vantaggi dell'uso di TRIZ è che le contraddizioni diventano "attraenti", in quanto identificano una opportunità di innovazione. Compromessi e *tradeoff* non faranno più parte del vostro vocabolario, perché avrete degli strumenti per risolvere le contraddizioni. Il sistema ideale diventa una probabilità e non più un semplice sogno. Di conseguenza ogni cosa diviene una possibile risorsa, indipendentemente dal vostro ruolo nel processo inventivo (vedi Tabella 6).

Tabella 6: Le aspettative del sistema ideale

Tradeoff e compromesso non faranno più parte del vostro vocabolario
 Ogni cosa diventa una possibile risorsa
 L'idealità diventa una vera possibilità
 Le contraddizioni diventano affascinanti
 La vostra età "diminuirà" nei risultati dei test psicologici (siete "fuori dal grafico")

E se siete in cerca della "fonte della giovinezza", avrete delle soddisfazioni vedendo diminuire la vostra "età psicologica". Imparerete infatti ad accettare e ad amare le contraddizioni, esattamente come fanno i bambini, che non hanno nessun problema di fronte ad una contraddizione.

Il primo passo della trasformazione del vostro modo di pensare inizia con la raccolta delle informazioni rilevanti che riguardano il problema. A questo scopo verrà utilizzato il Questionario sulla Situazione Innovativa (Innovation Situation Questionnaire ISQ), presentato nel Capitolo 2.

"Ad oggi il principale obiettivo prima della civilizzazione è quello di realizzare macchine che siano ciò che dovrebbero essere, schiave e non padrone degli uomini."

Havelock Ellis, 1922

2. Il Questionario sulla Situazione Innovativa (Innovation Situation Questionnaire ISQ)

Informazioni sul sistema e sul problema

I professionisti del problem solving affermano spesso che un problema ben definito è già per metà risolto. I primi passi della metodologia TRIZ si concentrano proprio su questo aspetto: la chiara definizione del problema. Un team di innovazione dovrebbe avere una corretta informazione e comprensione del sistema che contiene il problema, prima di imbarcarsi in un progetto di innovazione. A questo fine è necessario raccogliere in modo strutturato le informazioni relative ai diversi aspetti del problema. Il questionario sulla situazione Innovativa (ISQ)¹⁹ che viene introdotto in questo Capitolo è un utile supporto in questa fase preliminare. L'ISQ è stato sviluppato in Moldavia dalla scuola TRIZ di Kishinev.

Una raccomandazione: se durante la compilazione del questionario sorgono delle idee, è importante prenderne nota, in modo che rimangano documentate per una fase successiva. *(ma non cedete alla tentazione di interrompere il processo... potrebbe portarvi ad altre idee ancora migliori. Sarà assolutamente difficile "dimenticare momentaneamente di aver avuto quell'idea" e distogliere il vostro pensiero dall'approfondire quel percorso. Quando sarete in questa situazione, sappiate che siete stati colpiti da quella che in Soluzioniinventive chiamiamo "la maledizione della conoscenza": quando sapete qualcosa è difficilissimo "fingere di non saperla" e sottrarsi all'inerzia psicologica che ne deriva. N.d.T.)*

I problemi inventivi non sono spesso definiti in modo chiaro e non tutte le informazioni importanti sono a disposizione del gruppo di lavoro. L'ISQ aiuta il team a far emergere le necessità informative, fornendo una struttura per la raccolta di informazioni necessarie alla riformulazione del problema ed al suo "disassemblaggio" in tanti piccoli problemi. Questo processo cruciale di riformulazione del problema è trattato nel Capitolo 3.

Per introdurre all'uso dell'ISQ verranno presentati 2 problemi: 1) la rimozione di una vite da un osso e 2) come migliorare la velocità di una bicicletta. Quello della vite è un problema con molti vincoli ed inoltre ben illustra la situazione in cui si può trovare un team che continua a passare dall'esigenza di risolvere il problema per un singolo paziente oggi e la progettazione di un sistema innovativo in grado di risolvere definitivamente il problema per i pazienti futuri. Il problema della bicicletta offre invece opportunità di cambiamenti radicali nel sistema. Ogni domanda dell'ISQ sarà seguita da una spiegazione e dalle risposte per i due esempi.

Nelle applicazioni reali è buona norma cercare di rispondere a tutte le domande con il maggior numero possibile di dettagli. Un gruppo di lavoro dovrebbe investire almeno 4 – 8 ore nella compilazione e discussione del questionario. Le informazioni raccolte costituiranno infatti il database per l'applicazione dei vari strumenti TRIZ. È inoltre particolarmente utile l'uso di termini il più possibile generici, svincolandosi quindi dal gergo tecnico; pensare utilizzando termini legati alla tecnologia in analisi rafforza infatti quell'inerzia psicologica che TRIZ cerca di eliminare. I termini tecnici, inoltre, spesso usano parole che sottendono diversi concetti: far evaporare (tipico termine tecnico usato dagli "specialisti") risulta essere decisamente più restrittivo del più generico "asciugare" (che verrebbe invece utilizzato da un bambino di 10 anni). *(e se il sistema non deve creare vapore, ma ad esempio rimuovere un liquido da una superficie, imporsi di "far evaporare" il liquido è una auto-restrizione, un'inerzia psicologica. N.d.T.)*

Rispondere alle domande dell'ISQ stimola la nascita di *concepts* (possibili soluzioni al problema inventivo), che dovrebbero essere annotati non appena emergono. La combinazione di questo processo con la successiva formulazione dei diversi problemi correlati produce soluzioni nell'85% dei casi.

La compilazione del questionario fornisce al *problem solver* "un paio di occhi nuovi" con cui guardare il problema o le opportunità di innovazione racchiuse nel sistema.

1. Informazioni generali sul sistema che vorremmo migliorare / creare e sull'ambiente circostante

Utilizzare il nome standard del sistema, se esiste. Le spiegazioni di questo paragrafo sono basate sull'applicazione dell'ISQ al problema della rimozione della vite e a quello dell'aumento della velocità della bicicletta.

1.1 Nome del sistema

Sistema: vite e chiave a brugola

Sistema: bicicletta

1.2 Funzione principale del sistema (Primary Useful Function – PUF)

Un sistema rilascia una funzione quando qualcosa di esterno al sistema viene in qualche modo modificato. La *funzione* può essere descritta utilizzando un *verbo* (attivo) ed un *oggetto* che subisce qualche tipo di azione nel sistema.

Parole come *fornire* o *causare* non sono verbi attivi. La corretta definizione di una funzione e dei suoi vincoli dovrebbe essere del tipo: la vite mantiene in posizione le superfici dell'osso durante il periodo della guarigione. Il verbo attivo (*effettua una azione su qualcosa N.d.T.*) è "*mantenere in posizione*" e l'oggetto è "*le superfici*". Un vincolo generale per qualsiasi soluzione è che questa non deve interferire con la guarigione dell'osso (vedi Figura 1).

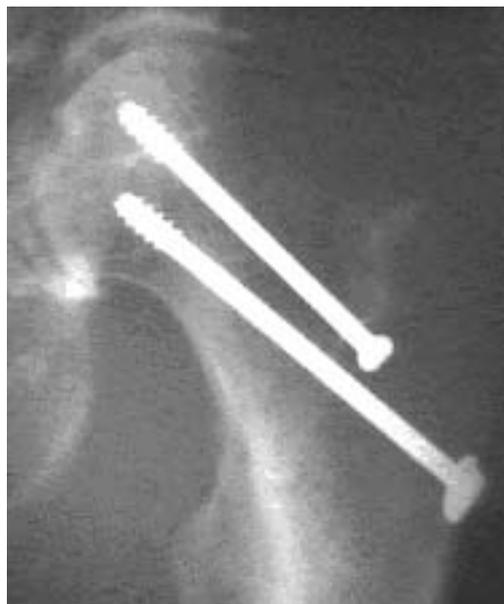


Figura 1. Le viti non devono interferire con il processo di guarigione dell'osso

La funzione principale del sistema *Vite*: la vite mantiene in posizione le superfici dell'osso.

La risposta a questa domanda dipende dal fatto che il problema venga affrontato a livello di sistema, di super-sistema o di sottosistema. In questo caso per sistema si intende la testa della vite, che ha la funzione di trasferire la coppia (*una forza di torsione N.d.T.*) allo stelo. Alle volte è possibile avere più opzioni di soluzione a livello di super-sistema che, in questo caso, sarebbe formato dalla vite, dalla chiave e dall'osso. Concentrarsi sul sottosistema significa ad esempio prendere in considerazione solo la cavità esagonale, ovvero affrontare un problema con margini molto limitati, in quanto il sistema sotto esame risulterebbe essere composto da un solo elemento. (*in questo particolare caso direi che il sistema non è la testa della vite, ma l'insieme della vite che agisce su un componente esterno (i due pezzi di osso), modificandone un parametro (la posizione relativa). N.d.T.*)

La funzione principale del sistema *Bicicletta*: muovere una persona o dei piccoli carichi per una distanza relativamente corta

1.3 Struttura attuale o desiderata del sistema

La struttura del sistema deve essere descritta staticamente, ovvero nella condizione in cui il sistema non sta operando, e dovrebbe inoltre essere accompagnata da un disegno.

Devono essere indicati in sequenza tutti i sottosistemi, i dettagli e le loro interconnessioni; è anche importante indicare i sistemi esterni (super-sistemi) all'interno dei quali il sistema si trova ad operare.

Struttura: *vite*

La vite ha un filetto (1), un gambo (2), una testa (3), una cavità esagonale per chiave a brugola (4); la vite è cava (5) (vedi Figura 2). La chiave a brugola (chiave Allen) è anch'essa parte del sistema.

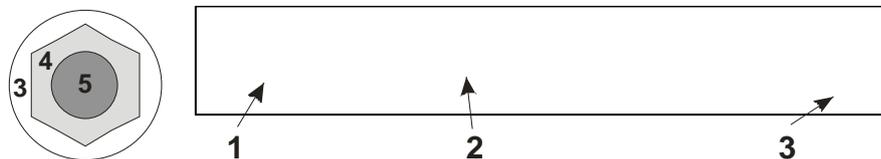


Figura 2. La vite ossea

Struttura: *bicicletta*

La struttura della bicicletta comprende il telaio (1) e un cuscinetto (2) all'interno del quale ruota un asse (3) al quale sono fissati dei pedali (4) e una corona (5). Quest'ultima è collegata ad una catena (6) che a sua volta si collega ad un'altra corona (7). Questa corona è collegata ad un asse (8) e quindi alla ruota (9) (vedi Figura 3).

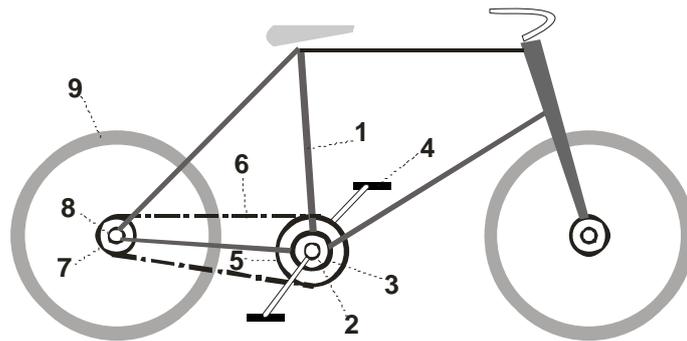


Figura 3. Una bicicletta

1.4 Funzionamento del sistema

Descrivete ora il funzionamento del sistema, ovvero come funziona durante la realizzazione della sua Funzione Utile Principale e come interagiscono fra di loro i vari sottosistemi ed elementi. Indicate ogni sottosistema in modo sequenziale e descrivete il modo e l'oggetto dell'interazione.

Funzionamento: *vite*

La chiave a brugola viene inserita nella cavità nella testa della vite. Per poter rimuovere la vite si procede inizialmente serrando la vite, per rompere le aderenze che si sono formate, per poi svitarla lentamente. (Tutto ciò, secondo l'autore che era anche il paziente, non ha proprio senso)

Funzionamento: *bicicletta*

Il ciclista fa ruotare i pedali premendo nella fase di discesa del pedale e tirando su (se la scarpa è agganciata al pedale) nella fase di risalita. Il pedale fa ruotare una corona, la corona fa muovere una catena, la catena fa ruotare una seconda corona, la seconda corona fa ruotare la ruota, etc.

Etc. sta a significare che chiunque può capire i collegamenti successivi. Di contro è in genere meglio descrivere tutti i dettagli. Molto spesso, infatti, dopo che il funzionamento è stato dettagliato e scritto, ci si sente dire "non sapevo funzionasse esattamente così". Molti dettagli del funzionamento dei sistemi anche più comuni spesso non ci sono chiari. Per esempio molte persone non si fermano a pensare che è la tensione dei raggi che fornisce resistenza ai carichi verticali della ruota di una bicicletta, e non la loro compressione, come avviene invece nei raggi delle ruote di legno dei vecchi carri. Si tratta di un dettaglio "ovvio", ma molti non riescono a spiegarcelo.

1.5 L'ambiente del sistema

Molte organizzazioni orientate al cliente fanno ricerche per individuare se e quali condizioni esterne possono generare nuovi fabbisogni rispetto alla soluzione del problema principale (*che, in prima approssimazione, è lo scopo per cui il prodotto è acquistato N.d.T.*). Come interagisce il sistema con i diversi supersistemi di cui è parte? Proprio per questo la descrizione dell'ambiente del sistema deve includere:

- ogni altro sistema con il quale il sistema principale interagisce (in modo positivo o negativo)
- altri sistemi che si trovano vicino al sistema principale e potrebbero essere messi in interazione, anche se al momento non lo sono

- sistemi più ampi dei quali il nostro sistema è componente/sottosistema (dei supersistemi, come per esempio il trasporto pubblico per il caso della bicicletta)
- l'ambiente naturale (aria, acqua, etc.) che circonda il sistema principale, come il corpo umano nel caso della vite ossea.

Ambiente: *vite*

- La chiave a brugola interagisce con la testa della vite e l'osso che la circonda
- Ci sono molti vincoli e complessità derivanti dalla necessità di ambiente sterile e dal fatto che la vite si trovi all'interno del corpo, laddove vi è poco spazio per manovrare gli attrezzi
- Rimuovere la vite dalla gamba è un sottoinsieme del supersistema "rimuovere materiali estranei dal corpo umano.

Ambiente: *Bicicletta*

- interagisce con il ciclista, la strada, l'aria e gli altri veicoli
- è un sistema che si trova nelle immediate vicinanze di altri oggetti nella casa o nel garage dove viene tenuta
- rappresenta un sottosistema del più ampio supersistema delle attrezzature sportive
- il design deve essere compatibile con i processi delle aziende di fabbricazione delle biciclette

2. Le risorse disponibili

I *problem solvers* spesso non prestano sufficiente attenzione alle risorse disponibili dell'ambiente che circonda un sistema. Le soluzioni inventive invece traggono spesso vantaggi rilevanti dall'utilizzo di questo tipo di risorse.

Fate una lista delle risorse che sono disponibili e prendete in considerazione il loro possibile utilizzo all'interno del sistema. A questo fine potete basarvi su questa check list di risorse che tipicamente sono disponibili:

- sostanze
- campi (ovvero energie)
- risorse funzionali
- informazioni
- tempo
- spazio

Per maggiori dettagli, fate riferimento all'Appendice G ed al Capitolo 5 per alcuni esempi.

Risorse: *vite*

- risorse funzionali Il corpo tenta naturalmente di rimuovere i corpi estranei
- sostanze Metallo della vite, l'osso, il tessuto, l'umidità
- sostanze Il sangue ed il calcio sono disponibili nel corpo

- | | |
|---------|--|
| - campi | Una reazione chimica nel corpo che dissolve la vite |
| - campi | Lo spostamento meccanico e l'attrito |
| - campi | La temperatura del corpo umano |
| - campi | Nella sala operatoria sono presenti sia luce che elettricità |

Risorse: *bicicletta*

- | | |
|----------------------|--|
| - sostanze | Metallo, plastica, ... |
| - campi | Nell'ambiente circostante può essere presente qualche forma di energia disponibile (vento, se a favore, il paraurti posteriore di un camion, etc.) |
| - spazio | Ci sono spazi liberi all'interno del telaio e sotto la sella. Il cavo del cambio e dei freni passano attraverso il manubrio. |
| - informazioni | Il diverso rumore durante il cambio di rapporto è una risorsa informativa |
| - risorse funzionali | Potrebbe essere la possibilità di cambiare il rapporto |

Tenete inoltre presente che esiste anche la possibilità di modificare in qualche modo le risorse esistenti (trasformazioni naturali o chimiche, il trattamento, l'accumulo, etc.) in modo da poterle utilizzare per eliminare eventuali effetti negativi. Questo tipo di risorse viene detto *derivato*.

Per esempio, il grasso viene considerato come risorsa negativa ai fini della realizzazione della funzione "lavare i piatti". Cospargendo i piatti e le padelle sporche di grasso con del bicarbonato di sodio, si crea del sapone sulla superficie, in corrispondenza delle macchie di grasso, ovvero... proprio dove è necessario! Questa è una risorsa derivata.

Ci sono molte possibili risorse derivate intorno a noi che non vediamo o che volutamente ignoriamo semplicemente perché le vediamo come problemi e non come possibili risorse.

3. Informazioni sulla situazione che genera il problema

3.1 Cosa vorreste migliorare o i difetti che vorreste eliminare

Indicate la/le causa/e che generano il problema (per problema si intende in questo caso *qualsiasi cosa sia non voluta nel sistema o qualsiasi tipo di miglioramento desiderato*).

Indicate in che modo il difetto sia legato alla funzione principale del sistema e alle altre funzioni positive. Alcuni tipici difetti sono:

- funzione positiva assente (vorremmo ottenere una funzione positiva ma non riusciamo)
- funzione positiva incompleta (abbiamo la funzione positiva richiesta, ma questa è inefficace o incompleta)

- funzione negativa (esiste un fattore negativo nel sistema, un'azione negativa o un risultato negativo che è conseguenza di un'azione)
- informazione assente (vorremmo informazioni su uno o più parametri dell'oggetto, ma non le abbiamo)
- informazione incompleta (abbiamo informazioni su uno o più parametri dell'oggetto, ma sono insufficienti)
- il sistema è troppo complesso
- il sistema costa troppo
- l'ordine di grandezza di alcune caratteristiche del sistema (ad eccezione delle questioni di misura o controllo) è inferiore a quanto richiesto
- l'ordine di grandezza di alcune caratteristiche del sistema (ad eccezione delle questioni di complessità o costo) è superiore a quanto richiesto
- il valore delle caratteristiche di misura o controllo del sistema è minore di quanto richiesto

vite

- Il grande attrito e la forza per maschiare l'osso richiedono l'applicazione di coppie considerevoli. La funzione primaria del sistema è già stata svolta. La successiva rimozione della vite è una funzione secondaria, ed è qui che si genera il problema.

Bicicletta

- La velocità della bicicletta è limitata dal fatto che il motore sia l'uomo

3.2 Il processo che causa il difetto, se è conosciuto

Descrivere, se possibile, il processo che genera il difetto, oltre alle condizioni ed alle circostanze sotto le quali l'evento negativo si realizza. È sempre utile capire le cause che stanno alla radice di un problema. Questo tipo di informazione è infatti fondamentale per il processo di formulazione del problema che vedremo nel prossimo capitolo.

vite

L'osso è cresciuto intorno e dentro la vite ed aderisce saldamente ad essa. La cavità a forma esagonale della testa non è il miglior mezzo per trasmettere una coppia elevata. Spesso infatti la cavità si consuma e non ci si ritrova più con una forma esagonale, ma con una pressoché circolare. La testa della vite si trova sotto la superficie della crescita ossea.

Bicicletta

Ci sono 2 principali cause della bassa velocità di una bicicletta:

- a) il trasferimento dell'energia dal ciclista al pedale
- b) la resistenza aerodinamica del ciclista.

La resistenza aerodinamica dei raggi è anch'essa una causa, ma di rilevanza minore

3.3 L'evoluzione della nascita del problema

Dopo quali eventi o passaggi nello sviluppo del sistema è apparso il problema? Descrivete i passaggi che, nella storia del sistema, hanno portato al difetto e la ragione di questi passaggi. Cercate di analizzare dei percorsi alternativi che avrebbero evitato quello specifico problema.

vite

La prassi medica consiste nell'attendere almeno un anno prima di rimuovere le viti ossee, in modo da assicurare la saldatura dell'osso. Dopo la rimozione della vite il paziente deve attendere che il foro nell'osso si chiuda prima di poter camminare senza le stampelle. Anche nel caso in cui il paziente sia abbastanza attivo e decisamente più giovane dei pazienti che di solito si sottopongono a questa operazione (70-80 anni), la prassi medica viene comunque seguita a causa della mancanza di informazioni riguardanti la maggior velocità di guarigione dei pazienti più giovani. Una rimozione precoce della vite causerebbe meno problemi per quest'ultima tipologia di persone (le viti spesso vengono addirittura lasciate in posa nei pazienti più anziani).

Due altre alternative sono state sperimentate per migliorare la funzione principale "permettere alla gamba rotta di guarire in modo sicuro", ma i loro effetti collaterali si sono dimostrati non accettabili.

Il paziente infatti poteva:

- rimanere a lungo a letto con la gamba in trazione o essere completamente ingessato per 2 mesi, con le possibili complicazioni che ne potevano derivare (nel 10% dei casi)
- non utilizzare nessuna ingessatura nei casi in cui la frattura non fosse completa ma solo parziale; di contro uno sforzo non corretto o una caduta accidentale avrebbero potuto rompere completamente l'osso

Queste alternative non possono ora essere prese in considerazione (*la situazione reale che si deve risolvere è che esiste già una vite nell'osso N.d.T.*), ma potrebbero essere analizzate in casi futuri.

Bicicletta

- La bassa velocità della bicicletta trova le sue radici nelle origini del sistema stesso, ed è legato alle caratteristiche peculiari dell'oggetto.
- È possibile cambiare il design di una bicicletta. Si potrebbe ad esempio pensare ad un sistema nel quale il ciclista agisce in posizione supina. Questo genererebbe dei nuovi problemi di marketing, oltre che di progettazione. La gente è abituata ad un design convenzionale e potrebbe non accettare cambiamenti così significativi. Non si ritiene utile, a questo punto dell'analisi, introdurre nel sistema questo tipo di problema.

3.4 Risolvere un problema diverso

È possibile intervenire in qualche modo sulla direttrice di evoluzione del sistema in modo da eliminare gli eventi che generano il problema? Questo potrebbe causare nuovi problemi, ma potrebbero essere più facili da risolvere rispetto a quello di partenza.

Vite

- Degli attrezzi che afferrano la testa della vite o che effettuano una carotatura intorno ad essa potrebbero funzionare.

Una specie di pinza richiederebbe più spazio intorno alla testa della vite, costringendo a scalpellare l'osso (Figura 4).

Un sistema di carotatura lascerebbe una cavità più grande di quella che ci sarebbe stata se si fosse riusciti a svitare la vite al primo tentativo (Figura 5). La rimozione di osso indebolisce la superficie dell'osso e richiede un periodo di convalescenza maggiore rispetto alla semplice estrazione della vite. Sarebbe quindi preferibile un processo meno invasivo rispetto ai precedenti, ma con maggiori probabilità di successo rispetto alla vite attuale.



Figura 4. Una pinza per vite ossea



Figura 5. Uno strumento per la "carotatura" dell'osso

- La vite potrebbe essere lasciata e non rimossa; potremmo cercare di convincere il paziente che è un bene avere un pezzo di metallo nella gamba
- Il paziente potrebbe assumere farmaci antidolorifici quando fa freddo. Sembra peraltro provato che il dolore associato al clima freddo non sparisca nemmeno dopo che la vite è stata rimossa. Sotto quest'ottica cambia radicalmente il rapporto rischio/beneficio.
- Visto che il problema originario non era rimuovere una vite ma tenere unite delle ossa rotte, il problema potrebbe essere risolto in futuro con qualche tipo di colla. Fino ad oggi questo tipo di soluzione non ha funzionato se non in congiunzione con qualche tipo di supporto strutturale. Sono allo studio delle viti biodegradabili per applicazioni particolari.
- Se la vite potesse essere usata come conduttore per qualche tipo di campo magnetico locale e questo potesse apportare dei benefici in termini di salute, verrebbe a cadere la necessità di rimuoverla. La vite potrebbe essere usata per monitorare, a fini di ricerca, la temperatura interna dell'osso, ovviamente con il consenso del paziente.

Bicicletta

- Potremmo inserire un deflettore in grado di ridurre la resistenza dell'aria all'avanzamento. Questo comporterebbe però un aumento di peso con conseguente maggiore difficoltà per il ciclista. In questo caso potrebbe essere utile risolvere il problema principale (resistenza all'avanzamento) cercando poi di trovare un modo per ridurre il peso della bicicletta, mantenendo però il deflettore.
- Se il problema della riduzione della resistenza aerodinamica non può essere risolto, potremmo cercare una strada alternativa per aumentare la velocità, migliorando ad esempio l'efficienza della

trasmissione.

- Se è impossibile migliorare la bicicletta, una alternativa potrebbe essere ricercata nella modificazione della funzione della bicicletta. Una bicicletta a motore è una bici con un motore ausiliario. Questo non serve a sostituire lo sforzo del ciclista, ma rappresenta una fonte supplementare di energia che potrebbe essere usata in salita.

Un piccolo scooter potrebbe essere un'altra opzione.

- La funzione di una bicicletta è muovere una persona e dei carichi. Se la funzione di trasporto dei carichi viene eliminata e il mezzo viene usato solo per lo sport, diviene più semplice riuscire a migliorarne la velocità. Con la stessa logica, se la funzione primaria della bicicletta è fare esercizio, la bicicletta potrebbe non muoversi affatto ma fornire la possibilità di fare uno sforzo rilevante.

- Se si dimostra impossibile aumentare la velocità della bicicletta, diviene necessario identificare un nuovo problema. Viaggiando alla stessa velocità, il tempo necessario per compiere il tragitto potrebbe essere ridotto riducendo la lunghezza del percorso. Il problema viene quindi cambiato in un problema di scelta del percorso.

(Pensate, ad esempio, al problema nei viaggi di ridurre il tempo "door-to-door". Il settore del trasporto aereo può cercare di sviluppare aerei sempre più veloci, ma su molte tratte lo spostamento a terra, il check-in e la logistica dei bagagli sono responsabili di una rilevante percentuale rispetto al totale del tempo "door-to-door".

Spesso ci si concentra su parametri tradizionali e non su quelli più rilevanti. La direttrice principale di sviluppo nel nord America è ancora quella di costruire nuovi aeroporti e nuovi aeroplani. Con l'aumento delle misure di sicurezza il tempo a terra è però aumentato. Alcuni Paesi hanno invece sostituito diverse rotte aeree tra le principali città con treni ad alta velocità, riducendo il tempo "door-to-door".

È fondamentale quindi lavorare sul collo di bottiglia che riduce la performance del sistema.)

- Il trasporto pubblico è un supersistema della bicicletta. Alcune città hanno ideato degli autobus in grado di trasportare le persone e le loro biciclette. Altri supersistemi potrebbero avvantaggiarsi da un'integrazione con un sistema di trasporto efficiente come la bicicletta; possiamo pensare ad esempio alla salute pubblica o alle pattuglie di polizia nelle grandi città.

Non tutte le alternative che emergono da questa analisi portano necessariamente a problemi e soluzioni accettabili o realizzabili. Di contro è molto utile analizzare tutte le possibilità. Queste alternative potrebbero non portare ad una soluzione immediata, ma si riveleranno probabilmente utili nelle fasi successive del processo di soluzione.

In questa fase possono emergere dei nuovi prodotti. Spesso un singolo progetto si moltiplica in due progetti, uno per l'oggi, l'altro per il domani.

4. Cambiare il sistema

4.1 I cambiamenti ammessi

È necessario individuare e descrivere il grado dei cambiamenti accettabili per la soluzione del problema. Di norma il grado di cambiamento dipende da:

- lo stadio attuale del processo produttivo del sistema (in sviluppo, prototipo funzionante, produzione pilota, produzione di massa, tecnologia esistente e consolidata, etc.)
- perdite (dirette ed indirette) causate dal problema in analisi
- possibili profitti e/o altri vantaggi correlati alla soluzione del problema

Quale delle seguenti affermazioni meglio descrive la situazione?

A) Sono possibili cambiamenti radicali, inclusa la creazione di un nuovo prodotto e/o tecnologia.

Vite: Qualsiasi strumento di rimozione è possibile

B) Sono possibili cambiamenti rilevanti entro limiti dati da costi, sviluppo, macchinari e compatibilità con le strategie di mercato (stessi clienti/dimensione del mercato).

Bicicletta: ci sono possibili problemi di vendita legati ad un eventuale cambiamento di immagine.

C) Sono possibili solo dei piccoli cambiamenti; il grado di libertà è ridotto dalla necessità di mantenere le tecnologie e gli impegni esistenti, rispettare le richieste dei clienti, etc. Cercate di essere molto specifici nel definire le restrizioni.

Bicicletta: Cambiamenti rilevanti nel processo produttivo sarebbero molto costosi.

D) È possibile introdurre solo cambiamenti minimi. Indicare esattamente il perché.

Vite: Dobbiamo prestare molta attenzione alla salute del paziente

Specificate quali caratteristiche economiche, tecniche o di altra natura potrebbero essere cambiate. Quali sono i vincoli rispetto a tali cambiamenti?

Vite:

È possibile progettare uno strumento completamente nuovo, ma deve essere in grado di sopportare le alte temperature di sterilizzazione e occupare il minor spazio possibile in modo da minimizzare l'invasività del processo.

Bicicletta:

Sono possibili cambiamenti radicali al design e al processo produttivo. L'unica limitazione deriva dal fatto che deve "sembrare una bicicletta", in modo da non generare remore nei clienti.

4.2 Le limitazioni ai cambiamenti nel sistema

Identificare cosa può e non può essere cambiato nel sistema. Quali caratteristiche tecniche, economiche o di altra natura dovrebbero:

- rimanere costanti?
- non diminuire?
- non aumentare?

Descrivere le ragioni delle limitazioni che ci imponiamo.

Se possibile indicare anche le condizioni alle quali tali limitazioni possono essere rimosse. Se questa rimozione è causa di nuovi problemi (secondari), valutate se sia il caso di cercare di risolvere questi nuovi problemi invece del problema originario.

Vite:

Le condizioni ambientali non possono essere cambiate, ovvero qualsiasi cosa dentro il corpo deve essere sterile. Un ambiente sterile è condizione necessaria per la sicurezza del paziente. Queste condizioni di sicurezza non possono essere trascurate da alcuno, paziente o staff medico.

Bicicletta:

La bicicletta non può essere sostituita da altri mezzi di trasporto, ma la modalità di trasporto può essere influenzata da fattori ambientali (*esterni al sistema N.d.T.*). Altri mezzi di trasporto possono mostrarsi necessari in inverno a causa delle basse temperature o per neviccate particolari.

La sicurezza e la comodità del ciclista non devono essere ridotte.

La reputazione delle aziende costruttrici di biciclette è basata sullo storico di affidabilità e sicurezza dei prodotti. D'altra parte, per chi corre in bicicletta, la sicurezza sembra non essere un problema.

La quantità di problemi legati al prodotto che il ciclista può tollerare dipendono quindi dagli obiettivi di progetto della bicicletta. Per le biciclette da competizione, ad esempio, alcuni vincoli derivanti da esigenze di sicurezza possono essere parzialmente ignorati.

5. Criteri per la selezione dei concept

5.1 Caratteristiche tecnologiche ricercate

5.2 Caratteristiche economiche richieste

5.3 Tabella di marcia di progetto

5.4 grado di novità richiesto

5.5 Altri criteri

Indicare le parti del sistema che hanno bisogno di essere cambiate per raggiungere le caratteristiche indicate precedentemente.

Quali cambiamenti devono essere fatti (sia di tipo quantitativo che qualitativo) per raggiungere quelle caratteristiche?

Come e perché questi cambiamenti genereranno inconvenienti?

Indicare i criteri base che verranno utilizzati per la valutazione delle possibili soluzioni.

Vite:

- Riduzione dell'attrito, aumento della coppia applicata alla testa e riduzione dello sforzo per tagliare l'osso (creare un foro filettato). Lo sforzo necessario per girare la vite è ridotto attraverso la riduzione dell'attrito e la semplificazione del processo di taglio. Una forza di maggiore intensità potrebbe essere applicata senza però causare danni alla testa della vite o all'osso (spanare la testa, scivolamento dell'attrezzo, etc.).
- Esiste una versione organica dell'olio per le macchine utensili? Potrebbe essere qualcosa di simile ad un olio antigrippante che si insinua lungo la vite e riduce l'attrito senza danneggiare l'osso?

Queste idee vanno annotate per stimolare i concepts e per mantenerli collegati con le idee che le hanno stimulate. In questo caso dobbiamo comunque tenere presente che la vite è legata all'osso e avrà bisogno di una soluzione differente.



- Altri criteri di valutazione dei concepts innovativi dovrebbero tenere in considerazione:
 - o Il vincolo di tempo per lo sviluppo di un modello funzionante
 - o Il vincolo di tempo necessario alla rimozione della vite
 - o La lunghezza dell'incisione necessaria per usare l'eventuale attrezzo
 - o La probabilità di riuscita dell'estrazione della vite

Bicicletta:

- È necessario ridurre la resistenza aerodinamica della bicicletta e del ciclista. Tale riduzione dovrà aumentare la velocità senza cambiare o, meglio ancora, diminuendo lo sforzo necessario.

I criteri dovrebbero includere:

- o L'aumento percentuale di velocità
- o La dimensione dell'investimento necessario per l'implementazione dei cambiamenti necessari al sistema
- o La possibilità di brevettazione dell'idea
- o La maggiore o minore somiglianza con l'immagine di una bicicletta classica
- o La probabilità di aumento delle vendite

6. Storico dei tentativi di soluzione

6.1 I precedenti tentativi di soluzione al problema

Documentando la storia dei precedenti tentativi di soluzione, è importante cercare di individuare le cause che hanno portato al fallimento degli stessi.

6.2 Altri sistemi con problemi simili

Individuate altri sistemi con problemi analoghi, e chiedetevi:

- Il problema è già stato risolto da qualche altra parte?
- È possibile applicare una soluzione simile al nostro problema?
- Se è impossibile, perché? Cosa ce lo impedisce?

Vite:

Alcuni problemi simili potrebbero essere:

- a. Bulloni bloccati dalla ruggine
- b. Viti con la testa spanata
- c. Chiodi piantati negli alberi da molti anni

Le relative soluzioni:

- a. Usare un estrattore. Fare un buco con il trapano esattamente al centro di una vite destrorsa (la direzione normale). Girare una vite rastremata e sinistrorsa fino al punto in cui si blocca nel foro e continuare a girare verso sinistra. La vite destrorsa tenderà a svitarsi.
- b. Utilizzare un seghetto per tagliare una nuova scanalatura nella testa della vite
- c. La parte di albero cresciuta intorno alla testa del chiodo è rimossa per avere una maggior area di azione.

Limitazioni

Tutti questi metodi potrebbero essere utilizzati per la vite nell'osso ma a causa dell'esigenza di sterilità dell'ambiente, di riduzione dei tempi di estrazione e della necessità di non lasciare nessun materiale estraneo nella gamba o nell'osso, azioni di foratura e taglio dovrebbero essere minimizzate.

Il punto di congiunzione fra la testa ed il gambo della vite è il punto più debole nella distribuzione della forza lungo la lunghezza della vite. La rimozione potrebbe divenire particolarmente complessa se la testa dovesse rompersi.

Bicicletta:

Alcuni problemi simili potrebbero essere:

- a. Aumentare la velocità dei pattini a rotelle
- b. Aumentare la velocità di una barca a remi (sono presenti la resistenza dell'aria e dell'acqua).

Le relative soluzioni:

- a. Cambiare il sistema introducendo il pattino in linea, con nuovi materiali e cuscinetti.
- b. Cambiare la forma della chiglia e dei remi. Cambiare la posizione di voga.

Limitazioni

Il nuovo sistema deve comunque assomigliare ad una bicicletta classica.

Molti utilizzatori di TRIZ trovano che il Questionario sulla Situazione Inventiva sia in grado di fornire tutte le indicazioni di cui hanno bisogno per risolvere un problema. Altri continuano con i passi successivi della metodologia.

Ora che avete raccolto tutte le informazioni riguardanti il problema, vi verrà presentato il *Problem Formulator*, con il quale potrete scomporre il problema iniziale in una sequenza di problemi più piccoli (Capitolo 3).

Per progetti di ampio respiro, potrebbero essere necessarie molte diverse analisi. Guardare il problema ad un livello spinto di dettaglio può sembrare molto costoso in termini di tempo e risorse, ma dovete tenere in considerazione gli sprechi ed i costi che vengono generati dai progetti mal pianificati. Tutti concordano sul fatto che una buona pianificazione si ripaga da sola, ma allo stesso tempo è possibile rilevare come raramente vengano rese disponibili risorse per un buon planning.

“Chi non applica nuovi rimedi, deve aspettarsi nuovi mali, in quanto il Tempo è il maggior innovatore.”

Francesco Bacone

Da “sull’innovazione” I Saggi, 1625

3. La formulazione del problema

Il processo di formulazione del problema

In questo capitolo viene presentato il processo per la costruzione di un sintetico grafico causa-effetto, in grado di mostrare il collegamento fra il principale problema di un sistema e la sua funzione utile principale^{20,21,22}.

Nella metodologia TRIZ vengono utilizzati i termini *funzione nociva (harmful function, HF)* e *funzione utile (useful function, UF)* per indicare rispettivamente i problemi connessi con il sistema e le funzioni del sistema stesso. È importante sottolineare che, in questo contesto, il termine “funzione” ha una definizione più generale rispetto a quella utilizzata nel Capitolo 2, riguardante il Questionario sulla Situazione Inventiva. Funzione può essere “qualsiasi cosa vogliate”.

Molte “funzioni” sono eventi, come un’esplosione o un improvviso cambiamento di una parte del sistema. Il processo di formulazione del problema gestisce funzioni che appartengono a questa categoria.

Per costruire il grafico, iniziate con l’identificazione della *funzione nociva principale (Primary Harmful function, PHF)* o della *funzione utile principale (Primary useful function, PUF)*. Se partite con la PHF, cercate di identificare la catena di funzioni che vi conduce al PUF. Il collegamento fra PHF e PUF è completo quando esiste almeno una catena completa fra le due funzioni.

Il grafico offre un’utile immagine dei diversi problemi di ordine inferiore che compongono il problema generale, così come inizialmente definito. Per risolvere in modo efficace il problema innovativo (eliminare la PHF), è necessario definire le relazioni di causa ed effetto di tutti i problemi collegati. Una volta stabilite queste relazioni causa-effetto, è probabile che scopriate che è sufficiente risolvere anche uno solo dei problemi secondari per risolvere completamente il problema principale. Un consiglio: iniziate con il problema che ha l’impatto più significativo sul sistema.

Nel precedente capitolo, sono state identificate le informazioni ritenute rilevanti per la soluzione del problema principale. La formulazione del problema si basa proprio su queste informazioni.

Il passo successivo della formulazione del problema concerne la descrizione dei problemi in frasi molto sintetiche e precise che descrivono l’interazione fra le azioni utili e nocive del sistema. Questo tipo di frasi devono includere per lo meno 2 funzioni.

L’inizio della formulazione del problema

Per aiutarvi a identificare i collegamenti fra le funzioni, è utile utilizzare una check list di 8 domande. Rispondere ad ognuna di esse garantisce di non dimenticare nessuna relazione.

Ci sono 3 tipi di collegamento fra funzioni nocive (HF) e funzioni utili (UF):

1. UF_n causa  HF_n
2. UF_n viene introdotta per eliminare  HF_n
3. UF_n è necessaria per  UF_{n+1}

Questi 3 tipi di collegamento portano alle 8 domande, 4 relative alle funzioni utili e 4 a quelle nocive.

4 domande per le funzioni utili

1. La funzione utile è *necessaria* per eseguire un'altra funzione utile?

UF_n è necessaria per \longrightarrow UF_{n+1}

2. È causa di effetti nocivi?

UF_n causa \longrightarrow HF_n

3. La funzione è stata introdotta per *eliminare* un effetto nocivo?

UF_n viene introdotta per eliminare \longrightarrow HF_n

4. La funzione ne *richiede* un'altra per essere eseguita?

UF_{n-1} è necessaria per \longrightarrow UF_n

4 domande per le funzioni nocive

5. La funzione nociva è *causa* di un'altra funzione nociva?

HF_n causa \longrightarrow HF_{n+1}

6. La funzione nociva è *causata* da un'altra funzione nociva?

HF_{n-1} causa \longrightarrow HF_n

7. La funzione nociva è causata da una o più funzioni utili?

UF_n causa \longrightarrow HF_n

8. E' stata introdotta una funzione utile per *eliminare* la funzione nociva?

UF_n viene introdotta per eliminare \longrightarrow HF_n

Le domande da 1 a 4 riguardano ogni funzione utile.

Le prime 3 domande identificano gli eventi che derivano logicamente dalla funzione positiva. Solo la domanda 4, invece, si riferisce alla PUF, in quanto la PUF rappresenta lo scopo finale del processo. Una volta completato un primo schema di processo (che esplorerà le funzioni più direttamente legate alla PUF), tutte le 4 domande diverranno rilevanti.

Una risposta di tipo affermativo a una qualsiasi delle domande determinerà la presenza di altre funzioni o altri collegamenti nel modello. Queste relazioni vengono descritte in un flow chart.

Più di una domanda può avere risposta affermativa e ogni risposta affermativa può determinare più di un collegamento. È pertanto importante porsi sempre tutte le domande per costruire un modello corretto dei collegamenti.

Molte delle informazioni necessarie provengono dal questionario (ISQ) precedentemente compilato.

La PUF viene identificata al secondo punto dell'ISQ (vedere Capitolo 2, 1.2), "Funzione principale del sistema".

La PHF emerge invece dall'indagine condotta al terzo punto dell'ISQ (Capitolo 2, 3), "Informazioni sulla situazione che genera il problema".

È possibile iniziare la schematizzazione del processo sia a partire dalla PUF che dalla PHF. Ogni singola risposta affermativa vi condurrà ad un'altra funzione, utile o nociva.

Nelle figure 1 e 2, troverete uno schema delle domande in grado di illustrarne il flusso logico. Come potete vedere, la distinzione fra i 2 tipi di funzione (UF, HF) genera un set di 4 domande, che aiutano nell'individuazione di nuove funzioni, generando un loop.

Utilizzeremo 2 esempi, che partono dall'individuazione rispettivamente della PUF e della PHF, per mostrare il processo di formulazione del problema.

Il caso della fornace mostrerà una formulazione a partire dalla PUF. L'esempio della vite ossea verrà di nuovo utilizzato per mostrare invece un'applicazione a partire dalla definizione di PHF.

Per distinguere in modo immediato le funzioni nocive (HF) e quelle utili (UF) nella preparazione dei flow chart e nella definizione dei problemi, le funzioni utili saranno racchiuse tra parentesi tonda (UF), mentre quelle nocive saranno sottolineate e in parentesi quadra [HF].

Saranno utilizzate forme diverse per le funzioni utili (cerchi bianchi) e per quelle nocive (quadrati grigi) in modo da rendere più immediata la lettura degli schemi.

Verranno inoltre utilizzate linee diverse per ognuno dei 3 tipi di collegamento: Una semplice freccia nera indica che una funzione è necessaria per la realizzazione di un'altra, una freccia più grossa e grigia indica che una funzione ne causa un'altra (*negativa N.d.T.*), una freccia tagliata da una linea perpendicolare indica che una funzione ne elimina un'altra.

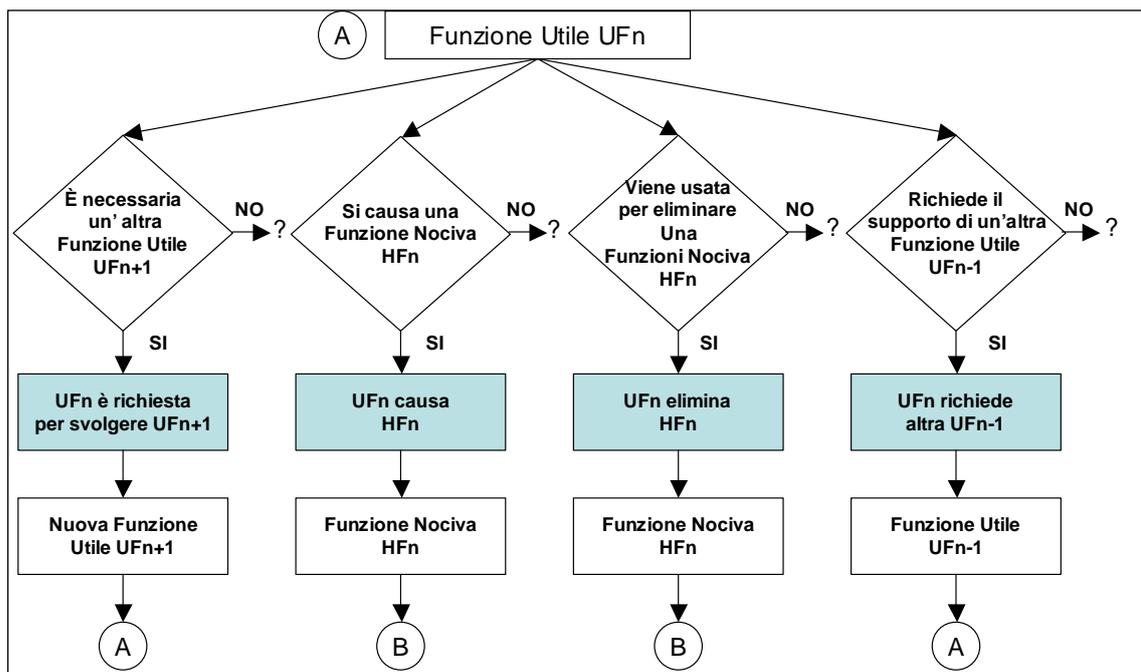


Figura 1: Lavorare con le funzioni positive (UF_n)

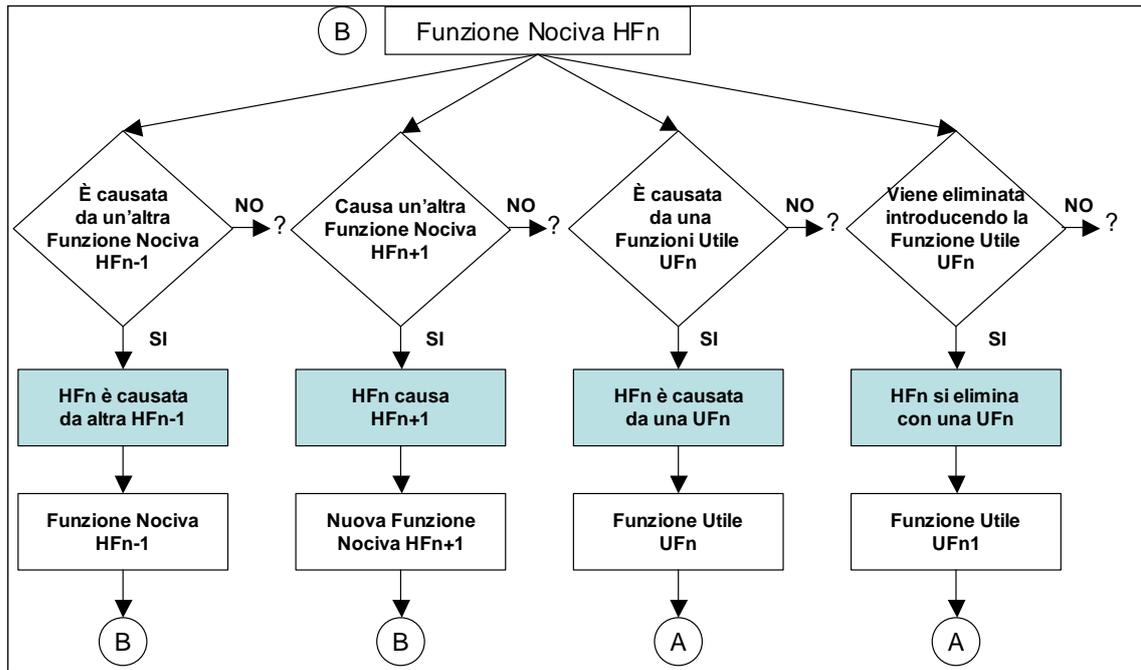


Figura 2: Lavorare con le funzioni nocive (HFn)

Il problema della fornace

Un'azienda realizza forni per l'estrazione di minerali metallici. Un cliente ha richiesto un forno con particolari caratteristiche di velocità efficienza e compattezza. Le esperienze passate riguardanti forni per l'estrazione di minerali metallici possono essere sintetizzate in:

I metalli sono estratti dai minerali attraverso un processo di fusione in un forno ad alta temperatura. Per raffreddare le pareti di mattoni refrattari del forno, viene pompata dell'acqua attraverso delle condutture annegate nelle pareti. Se una delle condutture si rompe, l'acqua può fuoriuscire attraverso i mattoni della parete sino a raggiungere il forno, generando un'esplosione (dovuta alla trasformazione istantanea in vapore N.d.T.).

La PUF è rappresentata dall'estrazione del metallo. Quale funzione è necessaria per estrarre il metallo?

Per non complicare inutilmente il modello preso ad esempio, ci concentreremo sulla funzione (fondere il minerale) come "risposta affermativa" alla domanda numero 4:

(fondere il minerale) è necessario per (estrarre il metallo)

La relazione può essere espressa in forma di flow chart, come mostrato nella figura 3.

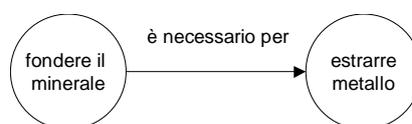


Figura 3

È importante sottolineare come la funzione (fondere il minerale) ha un solo significato. Non sottende nessuna informazione riguardante il contenitore, la temperatura, l'ambiente o altri tipi di condizioni. Eventuali altre condizioni possono determinare l'identificazione di funzioni aggiuntive, e come tali dovrebbero essere inserite nello schema ed analizzate.

Creando un flow chart del sistema prima di applicare il "Formulator" aiuta a chiarire le diverse funzioni.

Per la funzione (fondere il minerale), solo la domanda numero 4 ci porta ad una nuova funzione:

(elevata temperatura) è necessaria per (fondere il minerale)

Questa nuova funzione viene aggiunta quindi alla parte sinistra del diagramma, come mostrato nella figura 4.



Figura 4

Per identificare in modo corretto i diversi problemi, è necessario creare una lista dettagliata di funzioni. Come vedremo, l'aggiunta della funzione (fondere il minerale) determina l'identificazione di 3 nuove "definizioni del problema".

La formulazione del problema evidenzia chiaramente tutti i collegamenti fra le due funzioni, in modo da identificare tutte le possibili relazioni.

L'analisi della funzione (elevata temperatura) ci porta ad una risposta affermativa alla domanda numero 2:

(elevata temperatura) causa [surriscaldamento delle pareti del forno]

Visto che la funzione [surriscaldamento delle pareti del forno] è un'azione nociva, possiamo ora cominciare ad utilizzare le domande da 5 a 8. Un "sì" alla domanda 8 porta a:

(raffreddare le pareti della fornace) elimina [surriscaldamento delle pareti del forno]

Possiamo anche analizzare le varie strade che si dipanano dalle risposte alle domande 5, 6 e 7. Per ragioni di semplicità espositiva, ci soffermiamo in questo esempio all'analisi di un'unica catena possibile:

(muovere l'acqua nei tubi) è necessario per (raffreddare le pareti della fornace)

(pompate l'acqua nei tubi) è necessario per (muovere l'acqua nei tubi)
 (generare un'elevata pressione) è necessario per (pompate l'acqua nei tubi)
 (generare un'elevata pressione) causa [fuoriuscita di acqua nella fornace]
 [rottura della condotta] causa [fuoriuscita di acqua nella fornace]

Questo stesso processo potrebbe essere sviluppato per l'analisi di [Rottura della condotta] e [fuoriuscita di acqua nella fornace]. Ai fini del nostro esempio, verrà analizzata solo la parte di [fuoriuscita di acqua nella fornace].

[fuoriuscita di acqua nella fornace] causa [esplosione]

Molte altre domande potrebbero avere risposte affermative, ma in questo contesto non verranno considerate.

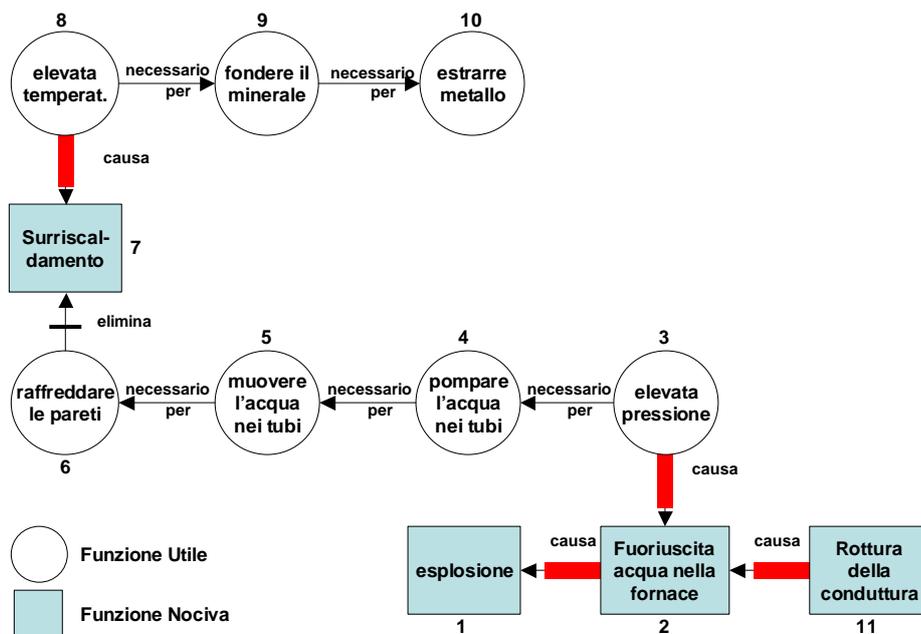


Figura 5 (i numeri sui diversi nodi si riferiscono alle definizioni del problema descritte successivamente)

Sviluppare le definizioni del problema

La definizione di un problema e la ricerca di definizioni alternative è un concetto fondamentale nel processo di soluzione. Un problema è un concetto negativo solo quando non si hanno strumenti a disposizione per risolverlo.

Il termine problema deve essere visto in ottica positiva. Definire correttamente un problema significa definire correttamente un obiettivo, ovvero descrivere delle possibili strade di soluzione. N.d.T.

Accettare [esplosione] come “il problema” può portare a trascurare gli altri 21 sotto-problemi che sono stati formulati. Nella figura 5 il numero riportato sopra ogni nodo si riferisce alle diverse definizioni di problemi che vengono elencate più avanti.

I collegamenti nel diagramma portano all'identificazione di due possibili aree di intervento (*definizioni di problema o “problem statement” N.d.T.*): per le funzioni nocive è possibile parlare di **prevenire**, per le funzioni positive è invece possibile pensare a “**modi alternativi per**”.

Ulteriori aree di intervento possono essere individuate per ogni nodo, quali **trarre beneficio** da una funzione nociva, **intensificazione** di una funzione positiva o la **risoluzione di una contraddizione**.

- 1.a Trovare un modo per **eliminare, ridurre o prevenire** [esplosione] sotto la condizione di [fuoriuscita di acqua nella fornace]. (*N.d.T. anche se l'acqua penetra nella fornace, non si genera un'esplosione o l'esplosione è minima*)
- 1.b Trovare un modo per **trarre beneficio da** [esplosione]
- 2.a Trovare un modo per **eliminare, ridurre o prevenire** la [fuoriuscita di acqua nella fornace] sotto la condizione di (elevata pressione) e [rottura della condotta]. (*N.d.T. la condotta si rompe ma l'acqua non penetra nella fornace, o ne penetra poca, etc.*)
- 2.b Trovare un modo per **trarre beneficio da** [fuoriuscita di acqua nella fornace]
- 3.a Trovare una **modalità alternativa per** (generare un'elevata pressione) che possa **generare la funzione di** (pompare l'acqua nei tubi) **e non causare** la [fuoriuscita di acqua nella fornace]
- 3.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (generare un'elevata pressione)
- 3.c Trovare un modo per **risolvere la contraddizione**: (generare un'elevata pressione) dovrebbe generare (pompare l'acqua nei tubi) e non dovrebbe causare [fuoriuscita di acqua nella fornace]
- 4.a Trovare una **modalità alternativa per** (pompare l'acqua nei tubi) che possa **generare la funzione di** (muovere l'acqua nei tubi) **e non richieda di** (generare un'elevata pressione)
- 4.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione di (pompare l'acqua nei tubi)
- 5.a Trovare una **modalità alternativa per** (muovere l'acqua nei tubi) che possa **generare la funzione di** (raffreddare le pareti della fornace) **e non richieda di** (pompare l'acqua nei tubi)
- 5.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (muovere l'acqua nei tubi)
- 6.a Trovare una **modalità alternativa per** (raffreddare le pareti della fornace) che possa **prevenire** il [surriscaldamento delle pareti del forno] **e non richieda di** (muovere l'acqua nei tubi)
- 6.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (raffreddare le pareti della fornace)
- 7.a Trovare un modo per **eliminare, ridurre o prevenire** il [surriscaldamento delle pareti del forno] sotto la condizione di (generare un'elevata temperatura) che non richieda di (raffreddare le pareti della fornace)
- 7.b Trovare un modo per **trarre beneficio da** [surriscaldamento delle pareti del forno]
- 8.a Trovare una **modalità alternativa per** (generare un'elevata temperatura) che possa **generare la funzione di** (fondere il minerale) **e non causare** il [surriscaldamento delle pareti del forno]
- 8.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (generare un'elevata temperatura)
- 8.c Trovare un modo per **risolvere la contraddizione**: (generare un'elevata temperatura) dovrebbe

- generare (fondere il minerale) e non dovrebbe causare [surriscaldamento delle pareti del forno]
- 9.a Trovare una **modalità alternativa per** (fondere il minerale) che possa **generare la funzione** di (estrarre il metallo) **e non richieda** di (generare un'elevata temperatura)
- 9.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (fondere il minerale)
- 10.a Trovare una **modalità alternativa per** (estrarre il metallo) che **non richieda** di (fondere il minerale)
- 10.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (estrarre il metallo)
- 11.a Trovare un modo per **eliminare, ridurre** o prevenire la [rottura della conduttura]
- 11.b Trovare un modo per trarre beneficio da [rottura della conduttura]

Analizzando il sistema, è possibile individuare tre livelli diversi di intervento. Le definizioni di problema (aree di intervento) 1a, 1b, 2a, 2b, 3a e 3b sono a livello di sub-sistema e richiedono soluzioni specifiche e di dettaglio.

Le definizioni 8a, 8b, 9a, 9b, 10a, 10b, 11a, 11b richiedono cambiamenti rilevanti del sistema, quali la sostituzione dell'intero sistema e possono rappresentare delle soluzioni di lungo termine.

Le aree di intervento che si trovano fra questi due opposti (4a, 4b, 5a, 5b, 6a, 6b, 7a, 7b) investono cambiamenti significativi del sistema ma di natura meno radicale e potrebbero esser utili per la soluzione immediata del problema.

Il processo di formulazione del problema offre una lista completa delle definizioni del problema e quindi delle aree di possibile intervento, fornendo al team di problem solving una varietà di possibili direzioni da seguire per ricercare la miglior soluzione.

I diagrammi come quello di figura 5 possono essere un valido supporto visivo nella selezione delle aree di intervento più proficue.

Un problema ben definito è un problema quasi risolto. Molto spesso, durante la fase di definizione del problema, le soluzioni emergono naturalmente; le relazioni fra le funzioni sono infatti più visibili rispetto alla tradizionale struttura che si focalizza su un singolo problema (per esempio, la [rottura della conduttura] causa [esplosione]).

La conoscenza dei professionisti e il buon senso sono spesso sufficienti per risolvere correttamente una problema ben definito.

Considerate la definizione 2a:

Trovare un modo per eliminare, ridurre o prevenire la [fuoriuscita di acqua nella fornace] sotto la condizione di (elevata pressione) e [rottura della conduttura].

Perché l'acqua fuoriesce dalla condotta quando c'è alta pressione e una fessura nella condotta stessa? Perché la pressione esterna è minore di quella all'interno della condotta. Ne possiamo dedurre che se la pressione interna fosse inferiore alla pressione esterna, non si verificherebbe nessuna perdita d'acqua, anche in caso di rottura della condotta.

È possibile immaginare una soluzione di questo tipo? Sì, utilizzando una pompa a vuoto per muovere l'acqua. La definizione 4a, "**Trovare una modalità alternativa per** (pompare l'acqua nei tubi) che possa

generare la funzione di (muovere l'acqua nei tubi) e non richieda di (generare un'elevata pressione)" avrebbe potuto condurci anch'essa a questa soluzione.

Questo processo di analisi e di messa in discussione dei problemi mostra come una buona definizione di un problema possa facilmente guidarci verso soluzioni semplici e concrete. Provate a generare altre soluzioni basandovi sulle altre definizioni di problema, ma ricordate che non sempre sono richieste soluzioni ad alto contenuto tecnologico.

La soluzione di prevenire la [fuoriuscita di acqua nella fornace] rompe il legame causale fra (elevata pressione) e (pompate l'acqua nei tubi). Così facendo i quattro nodi più lontani dalla PUF vengono eliminati.

Tanto più la definizione del problema è vicina alla PUF, tanto maggiore è il cambiamento al sistema richiesto dall'implementazione della soluzione.

Il processo di formulazione del problema è quindi in grado di mostrare diverse direzioni per l'ideazione di soluzioni che possono essere implementate oggi, domani o in futuro più remoto.

Lo schema delle aree di intervento riguardanti il problema della fornace, indica diverse possibili direzioni evolutive per il processo di estrazione del metallo dal minerale.

La strategia di **trovare una modalità alternativa per** (estrarre il metallo) che **non richieda** di (fondere il minerale) suggerisce ad esempio di effettuare una ricerca riguardante dei processi "a freddo", che non richiedono la fusione. Potrebbe essere possibile un processo di tipo chimico?

Il processo di formulazione del problema non si adatta necessariamente e solo a problematiche di tipo tecnico, ma può essere usato per ogni tipo di problema. Per problemi riguardanti i servizi, basta sostituire la parola "funzione" con la parola "compito" (*task*).

(N.d.T. nel corso degli anni ho trovato molto più utile imparare ad utilizzare la parola funzione anche nell'analisi di problemi legati a servizi, generalizzando sia il concetto di funzione che quello di prodotto o di servizio)

Per l'analisi dei sistemi che presentano diversi "problemi potenziali" (*failure modes*), un aiuto può venire dall'utilizzo di strumenti quali il *Quality Function Deployment* (QFD) e/o l'*Analytic Hierarchy Process* (AHP), per determinare una scala di priorità dei problemi.

Attraverso questa classificazione è possibile identificare le HF più importanti (PHF), che potranno così essere il punto di partenza del processo di formulazione del problema.

Problemi particolarmente complessi possono generare centinaia di definizioni del problema, che possono però essere raggruppati per focalizzare gli sforzi e le risorse sulla soluzione dei problemi più rilevanti.

Nel caso in cui la vostra organizzazione non abbia risorse sufficienti per analizzare tutti i percorsiolutivi proposti dal processo di formulazione del problema, è possibile cercare di semplificare il processo di selezione del problema secondo le seguenti indicazioni:

1. Selezionare il problema con il miglior rapporto costo/beneficio
2. Tanto più il problema è radicale, tanto maggiore sarà il beneficio potenziale
3. È meglio cercare di eliminare le cause delle funzioni negative piuttosto che cercare di mitigarle
4. Il livello di difficoltà connesso all'implementazione di una soluzione dovrebbe essere un criterio di selezione importante. Soluzioni troppo radicali possono risultare inaccettabili per la cultura specifica dell'azienda e come risultato dell'inerzia psicologica

Non tutti i problemi sono semplici come quello della fornace. Se le risposte alla check list di 8 domande illustrassero una situazione di questo tipo...

(PUF) richiede (UF₁)

(PUF) richiede (UF₂)

(UF₂) causa [HF₁]

(UF₃) causa [HF₁]

(UF₄) causa [HF₁]

(UF₄) causa [PHF]

... le definizioni dei problemi sarebbero più complesse di quelle dell'esempio della fornace.

Come nell'esempio precedente, i numeri riportati vicino ai nodi della figura 6 indicano la definizione di problema associata.

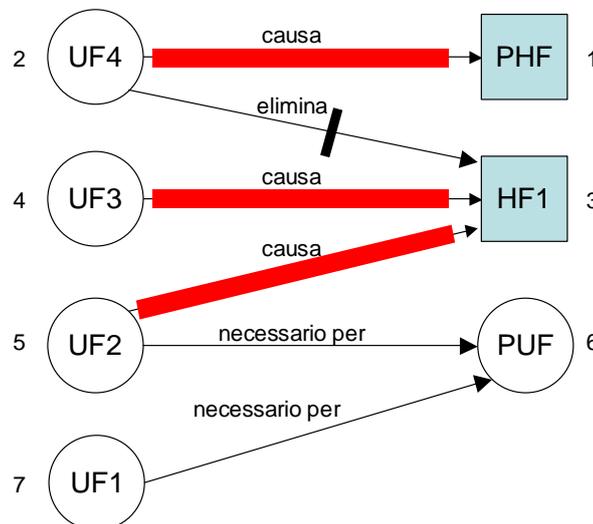


Figura 6: Un esempio di rete di relazioni

- 1.a Trovare un modo per **eliminare, ridurre o prevenire** [PHF] sotto la condizione di (UF₄).
- 1.b Trovare un modo per **trarre beneficio da** [PHF]
- 2.a Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (UF₄) che possa eliminare, ridurre o prevenire [HF₁] ma non causi [PHF]
- 2.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (UF₄)
- 2.c Trovare un modo per **risolvere la contraddizione**: (UF₄) elimina [HF₁] e non causa [PHF]
- 3.a Trovare un modo per **eliminare, ridurre o prevenire** [HF₁] sotto la condizione di (UF₃) e (UF₂) e non richiede (UF₄)
- 3.b Trovare un modo per **trarre beneficio da** [HF₁]

- 4.a Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (UF₃)
- 4.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (UF₃)
- 5.a Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (UF₂) che possa generare (PUF) e non causi [HF₁]
- 5.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (UF₂)
- 5.c Trovare un modo per **risolvere la contraddizione**: (UF₂) genera la funzione (PUF) e non causa [HF₁]
- 6.a Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (PUF) in modo tale da non richiedere (UF₁) e (UF₂)
- 6.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (PUF)
- 7.a Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (UF₁) che possa generare o intensificare la funzione (PUF)
- 7.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (UF₁)

La rappresentazione in questo esempio mostra la mappatura di due nuove situazioni.

La prima riguarda la presenza di una funzione (UF₂) che è necessaria per generare un'altra funzione utile (PUF) ma nel contempo causa una funzione nociva [HF₁].

Il secondo mostra una funzione utile (UF₄) che è stata introdotta per eliminare una funzione nociva [HF₁], ma così facendo ne crea un'altra [PHF].

La formulazione del problema della vite ossea

Prendiamo di nuovo in considerazione l'esempio della vite ossea per applicare il processo di formulazione del problema.

In questo esempio inizieremo con l'identificazione della PHF (funzione nociva principale), a partire dalle informazioni che dovrebbero far parte del Questionario sulla Situazione Innovativa (ISQ).

Si è formata una frattura nel collo che unisce il femore alla testa. La frattura attraversa la parte più stretta del diametro del collo. La causa è da ricercare in un impatto dal basso verso l'alto proveniente da un punto localizzabile in basso a destra della figura 7.



Figura 7: un modello di collo del femore sinistro

Le viti in figura 8 sono lunghe rispettivamente 96 mm e 73 mm. La vite con la rondella è stata rimossa dopo circa un anno. La testa dell'altra vite è stata spanata nel tentativo di rimuoverla ed è stata quindi lasciata in loco.

L'autore/paziente ha quindi deciso di applicare TRIZ per generare più opzioni di soluzione rispetto a quelle che il medico era in grado di offrire. Lasciare in loco la vite, ad esempio, non era una soluzione accettabile all'autore/paziente.

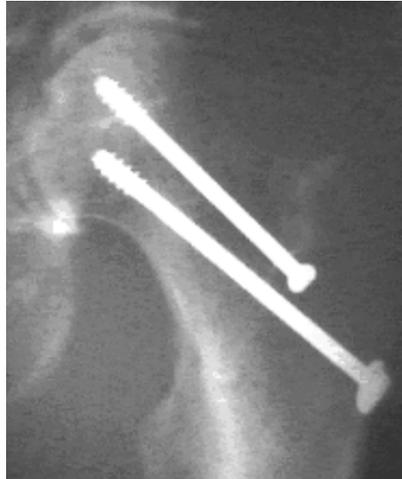


Figura 8: viti ossee in acciaio inossidabile inserite nel collo del femore

La vite in acciaio inossidabile è lunga 73 mm ed ha un filetto lungo 16 mm. Il filetto è autofilettante in entrambe le direzioni. Il gambo della vite ha un diametro di 4,5 mm (vedere figura 9, dove è illustrata la vite da 96 mm).

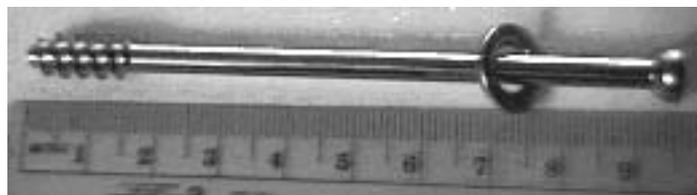


Figura 9: vite ossea autofilettante da 96 mm in acciaio inossidabile

Il filetto della vite è progettato per penetrare nell'osso sia in fase di inserimento che di estrazione. Notate il buco anteriore da 2 mm, utilizzato per far passare un filo inserito nell'osso con funzioni di guida nella fase di inserimento della vite.



Figura 10: il filetto della vite è progettato in modo da poter incidere l'osso sia in fase di inserimento che di estrazione

Il diametro della testa è di 7 mm, con un buco esagonale di 4,5 mm fra le facce (figura 11). Si può notare di nuovo il buco passante da 2 mm, che potrebbe rivelarsi una risorsa utile per la soluzione del problema.



Figura 11 il foro da 2 mm potrebbe essere una risorsa per la rimozione della vite

La soluzione richiesta è la rimozione della vite dal collo del femore dell'autore/paziente.

La PHF è: [la vite non gira e non esce].

Il processo di formulazione del problema porta ad identificare i seguenti links:

[l'attrezzo non fa presa nella guida] causa [la vite non gira e non esce]

[la brugola è spanata] causa [l'attrezzo non fa presa nella guida]

(elevata forza d'attrito) causa [l'attrezzo non fa presa nella guida]

(elevata forza d'attrito) è necessario per (la vite viene integrata nell'osso)

(elevata forza d'attrito) causa [l'attrezzo non fa presa nella guida]

(l'osso cresce intorno alla vite) è necessario per (elevata forza d'attrito)

(l'osso cresce intorno alla vite) è necessario per (la frattura guarisce e la cavità si riempie)

Il modello che illustra questo problema è abbastanza semplice. Ricordatevi di annotare ogni possibile idea che dovesse scaturire dalla lettura delle definizioni del problema.

Il flow chart di figura 12 porta all'identificazioni delle seguenti aree di intervento o "definizioni di problema" (*problem statements*):

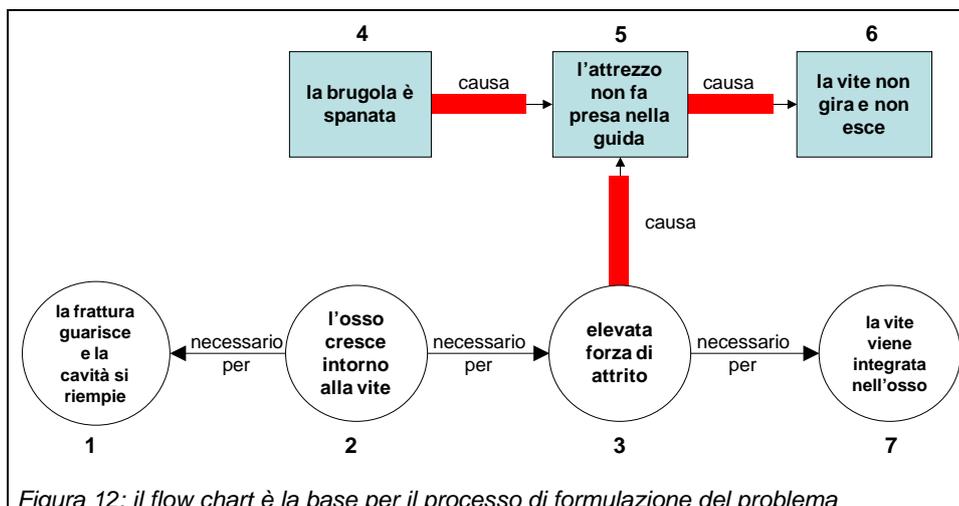


Figura 12: il flow chart è la base per il processo di formulazione del problema

(N.d.T. Lo schema sopra riportato può essere visto a mio avviso come una sintesi a scopo didattico di un modello più articolato. Nel corso dei vostri futuri lavori di problem solving non dovete comunque sorprendervi di fronte a modelli diversi prodotti da persone diverse. Sono il risultato di diversi punti di vista e divengono un'utile base di lavoro per la realizzazione di un valido modello di sintesi del problema).

- 1.a Trovare un modo per **intensificare** la funzione (la frattura guarisce e la cavità si riempie)
- 1.b Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (la frattura guarisce e la cavità si riempie) in modo tale da non richiedere (l'osso cresce intorno alla vite)
- 2.a Trovare un modo per **intensificare** la funzione (l'osso cresce intorno alla vite)
- 2.b Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (l'osso cresce intorno alla vite) che possa generare (la frattura guarisce e la cavità si riempie) e non causi (elevata forza d'attrito)
- 3.a Trovare un modo per **intensificare** la funzione (elevata forza d'attrito)
- 3.b Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (elevata forza d'attrito) che possa generare o intensificare (la vite viene integrata nell'osso), che non causi [l'attrezzo non fa presa nella guida] e non richieda (l'osso cresce intorno alla vite)
- 3.c Trovare un modo per **risolvere la contraddizione**: (elevata forza d'attrito) genera la funzione (la vite viene integrata nell'osso) e non causa [l'attrezzo non fa presa nella guida]



Idee (concepts): lubrificare, vibrare, ridurre le dimensioni della vite, rendere l'osso più morbido, dissolvere il filetto. A questo punto il paziente (l'autore) cominciò a preoccuparsi nell'immaginarsi l'implementazione di questi concetti alla propria gamba! È comunque vero che in genere chi lavora alla soluzione di un problema non è solitamente così "emozionalmente coinvolto". Questa situazione è un perfetto esempio di "Voce del Cliente" (*concetto proveniente dalla QFD, N.d.T.*) che dice: "NO!!!".

- 4.a Trovare un modo per **trarre beneficio da** [la brugola è spanata]
- 4.b Trovare un modo per **prevenire** [la brugola è spanata] sotto la condizione di (elevata forza d'attrito) (N.d.T. *immaginare delle modalità per evitare lo spanamento della brugola anche in presenza di un forte attrito fra la vite e l'osso, dovuto alla crescita dell'osso intorno alla vite stessa. In pratica, si tratta di un'azione preventiva su una HF*)
- 5.a Trovare un modo per **trarre beneficio da** [l'attrezzo non fa presa nella guida]
- 5.b Trovare un modo per **prevenire** [l'attrezzo non fa presa nella guida] sotto la condizione di [la brugola è spanata] e di (elevata forza d'attrito) (N.d.T. *la brugola è spanata e la forza d'attrito osso-vite è alta, ma l'attrezzo fa presa lo stesso... come?*)



Idee (concepts): usare un estrattore sinistrorso tipo easyout (N.d.T. *una punta con filetto sinistrorso, che viene inserito in un foro praticato nella vite da svitare e "avvitato"... determinando lo sviamento della vite principale*), una pinza a morsa, della colla, intagliare una sede nuova per l'attrezzo, applicare una forza alla punta della vite.

- 6.a Trovare un modo per **trarre beneficio da** [la vite non gira e non esce]
- 6.b Trovare un modo per **prevenire** [la vite non gira e non esce] sotto la condizione di [l'attrezzo non fa presa nella guida]
- 7.a Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (la vite viene integrata nell'osso) che

non richieda di (elevata forza d'attrito)

7.b Trovare un modo per **intensificare** la funzione (la vite viene integrata nell'osso)

La formulazione del problema, insieme all'ISQ, rappresenta uno strumento molto efficace per l'innovazione. Ad oggi ha contribuito a produrre molte innovazioni dirompenti in campo industriale e diversi brevetti.

La Rockwell International, ad esempio, chiese di migliorare la progettazione dei freni per le automobili in uso nei campi da golf. Sono stati quindi identificati 21 links e derivate 42 possibili aree di intervento (*problem statements*). Il risultato del lavoro fu un sistema frenante perfettamente funzionante formato da molte meno parti.

L'azienda Allied Signal ha utilizzato TRIZ per riprogettare l'anello di contenimento dei motori dei jet. Sono stati identificati 9 link che hanno portato a soluzioni innovative. Una parte di questo caso è illustrata nell'appendice F.

L'ISQ e il "Problem Formulator" non sono considerati parte della TRIZ classica, ma sono stati ideati per ovviare ai limiti della metodologia classica. Entrambi sono ora diventati strumenti importanti nella cassetta degli attrezzi TRIZ.

Il prossimo capitolo descrive il terzo strumento della cassetta degli attrezzi dell'innovatore. Questo particolare strumento è stato uno dei primi ad essere sviluppato da Altshuller: la risoluzione delle contraddizioni attraverso l'utilizzo dei 40 Principi o dei Principi di Separazione.

"Quasi tutti gli uomini sono intelligenti. Quello che manca è il metodo."

F.W. Nichol

4. Le contraddizioni

Quando usare l'Analisi delle Contraddizioni

L'analisi delle contraddizioni è un metodo molto potente per guardare i vostri problemi sotto nuovi punti di vista. Una volta acquisita questa nuova prospettiva, potrete utilizzare la Matrice delle Contraddizioni per generare numerosi concept. Se il vostro problema può essere inquadrato nei parametri che verranno elencati più avanti, potrete essere a buon punto nel percorso di ricerca di soluzioni al tempo stesso creative ed efficaci.

Le origini dell'Analisi della Contraddizioni

Un problema complesso può essere espresso sia in termini di contraddizione tecnica che fisica. L'uso delle parole **tecnica** e **fisica** è piuttosto arbitrario, ma questi termini sono accettati nella letteratura TRIZ.

Un problema è definito "contraddizione tecnica" quando sono disponibili delle possibili alternative per migliorare un parametro del sistema, ma ciò viene fatto a spese di un altro parametro. In altre parole, una contraddizione tecnica esiste quando il miglioramento di un parametro "A" del sistema determina un peggioramento del parametro "B" (ad esempio un container che viene reso più resistente, aumentando lo spessore delle pareti, ma questo determina un aumento del suo peso).

Alcuni esempi di contraddizione tecnica possono essere: (1) pattini da ghiaccio più veloci (pattini da corsa) ma meno manovrabili (pattini da pattinaggio artistico), (2) migliorare l'accelerazione di un'automobile, aumentandone i consumi.

Una "contraddizione fisica" esiste invece quando dei parametri di un prodotto o servizio devono avere due stati opposti (ad esempio il prodotto è caldo ed è freddo).

Le Contraddizioni Fisiche: uno sguardo da vicino

Il proprietario di un'automobile vuole un'auto piccola per guidare e parcheggiare in città. Dall'altro lato, vorrebbe che l'auto fosse il più grande possibile per uscire facilmente dall'auto e per aumentarne il comfort. Nel 1995 la Honda sfidò i propri ingegneri a dimenticare lo stile tradizionale ed a progettare un'automobile rispettando queste richieste antitetiche dei clienti. La difficoltà era ulteriormente aumentata dal fatto che l'auto doveva essere facilmente parcheggiabile a Tokyo. Il team di progetto sviluppò un'automobile con una forma molto simile ad una sfera. In questa configurazione, il sistema risultava essere piccolo all'esterno e grande all'interno.

Per questa contraddizione fisica (*piccolo-grande N.d.T.*), la contraddizione tecnica equivalente è che una macchina grande è più difficile da parcheggiare. (*Vorrei aumentare il comfort aumentando le dimensioni dell'auto (par. A) ma così facendo aumento la difficoltà di parcheggio(par. B) N.d.T.*)

Strutturare un problema inventivo secondo la logica delle contraddizioni

Comprendere come sia possibile strutturare un problema nei termini di una contraddizione è un passo essenziale in questa analisi. Le informazioni contenute nell' ISQ del Capitolo 2 aiutano a mappare la

conoscenza del problema in analisi, secondo un format che aiuta ad esplorare in modo sistematico lo *spazio delle soluzioni*.

Il questionario comprende una serie di domande, come ad esempio “Qual è la funzione utile principale del sistema?” e “Cosa vuoi migliorare?” Alcune risposte a queste domande possono già contenere contraddizioni.

I due esempi seguenti di contraddizioni provengono dai casi discussi nel Capitolo 2. “Rimuovere una vite ossea” e “Aumentare la velocità di una bicicletta” erano gli obiettivi posti all’inizio dell’ISQ (“Cosa volete migliorare?”).

Le contraddizioni tecniche derivano spesso dalle scelte operate nella fase di progettazione del sistema attuale, o da leggi fisiche. È però importante prestare molta attenzione: i vincoli che pensiamo siano imposti dalla fisica del sistema potrebbero non essere reali. Come spiegato nel Capitolo 2, molte persone credono che la forza centrifuga spinga sempre il materiale lontano dall’asse di rotazione. Il poco conosciuto “effetto Weissenberg” descrive invece il comportamento di alcuni liquidi visco-elastici che tendono a risalire lungo l’asse di rotazione. Quelli che oggi vediamo come vincoli insormontabili, potrebbero essere soltanto il risultato di una mancanza di conoscenza. Utilizzando un database di effetti fisici come ad esempio quello riportato nell’Appendice A, è possibile allargare il campo della conoscenza disponibile e creare nuove opportunità di innovazione.

La domanda n. 3 dell’ISQ (“Qual è la causa del problema?”) ci indica la contraddizione tecnica per la bicicletta: aumentare la velocità richiede più potenza fisica.

La domanda n. 4 evidenzia un’altra contraddizione per la bicicletta: per ridurre la resistenza del vento aumentiamo il peso. (questa situazione contiene anche una contraddizione fisica: avere un parabrezza per ridurre la resistenza del vento e non avere il parabrezza per ridurre la potenza fisica richiesta).

Il processo di formulazione del problema illustrato nel Capitolo 3 evidenzia tutti le possibili definizioni del problema relative al sistema in esame. Questo processo molto efficace può anche essere usato per problemi non prettamente tecnici.

Una contraddizione tecnica si genera quando una funzione utile A richiede una funzione C che danneggia B oppure causa una funzione nociva B. Secondo quanto appreso nel Capitolo 3 possiamo avere una situazione in cui *la funzione A richiede la funzione C e la funzione C causa la funzione negativa B*.

Dalla contraddizione tecnica espressa, emergono le seguenti aree di possibile intervento:

Trovare una **modalità alternativa per** realizzare la funzione (C) che possa generare o intensificare (A) ma non causi [B]

Trovare un modo per **eliminare, ridurre o prevenire** [B] sotto la condizione di (C)

Trovare un modo per **intensificare** la funzione (C)

Trovare un modo per **risolvere la contraddizione**: (C) genera la funzione (A) e non causa [B]

Trovare una **modalità alternativa per** generare (A) che non richieda (C)

Trovare un modo per **intensificare** la funzione (A)

Trovare un modo per **trarre beneficio da** [B]

Per quanto riguarda il problema della vite, analizziamo la definizione “(elevata forza d’attrito) è necessario per (la vite viene integrata nell’osso) e causa [l’attrezzo non fa presa nella guida]”.

Riformulando in termini di contraddizione, il problema diviene: **“Trovare un modo per risolvere la contraddizione:** (elevata forza d’attrito) genera (la vite viene integrata nell’osso) ma non deve causare [l’attrezzo non fa presa nella guida].

L’intensificazione della funzione (la vite viene integrata nell’osso) rende ancora più difficile la rimozione della vite. Il processo di formulazione del problema fa emergere quindi le contraddizioni tecniche insite nel sistema in analisi.

La Tavola delle Contraddizioni: migliorare il normale processo di problem solving

(N.d.T. la Tavola delle Contraddizioni è più conosciuta nel mondo TRIZ come Matrice delle Contraddizioni. Nel corso del libro le due denominazioni saranno utilizzate come sinonimi)

Il tradizionale problem solving si basa sulle esperienze passate.

Gli esseri umani risolvono i problemi mediante il pensiero per analogia. Tentiamo infatti di mettere in relazione il problema che stiamo affrontando con delle categorie di problemi standard, a noi più familiari (analoghi), per i quali esiste una soluzione. Se ci rifacciamo alla corretta analogia, siamo in grado di arrivare ad una soluzione efficace. La nostra conoscenza di problemi analoghi è il risultato delle nostre esperienze scolastiche, professionali e di vita.²³

Tabella 1: I 39 parametri

1	Peso di un oggetto mobile	21	Potenza
2	Peso di un oggetto stazionario	22	Spreco di energia
3	Lunghezza di un oggetto mobile	23	Perdita di materia
4	Lunghezza di un oggetto stazionario	24	Perdita di informazione
5	Area di un oggetto mobile	25	Spreco di tempo
6	Area di un oggetto stazionario	26	Quantità di materia
7	Volume di un oggetto mobile	27	Affidabilità
8	Volume di un oggetto stazionario	28	Accuratezza della misura
9	Velocità	29	Precisione di lavorazione
10	Forza	30	Fattori negativi esterni
11	Sforzo/Pressione	31	Effetti nocivi derivati
12	Forma	32	Facilità di fabbricazione
13	Stabilità di un oggetto	33	Facilità d’uso
14	Robustezza/ resistenza	34	Facilità di riparazione
15	Durata dell’azione di un oggetto mobile	35	Adattabilità
16	Durata dell’azione di un oggetto stazionario	36	Complessità del congegno
17	Temperatura	37	Complessità del controllo
18	Luminosità	38	Livello di automazione
19	Energia	39	Produttività
20	Energia utilizzata da un oggetto stazionario		

Cosa fare se non abbiamo mai incontrato un problema analogo a quello che stiamo affrontando? Questa domanda ovvia rivela il difetto principale dell’approccio standard ai problemi inventivi. Una tabella dei conflitti (Matrice delle Contraddizioni, Appendice D) tra 39 parametri del sistema (Tabella 1) risponde

proprio alla domanda “come possiamo affrontare una contraddizione che non ci è familiare”, offrendo 1201 “problemi generali” che sono stati risolti utilizzando per lo meno uno dei 40 principi solutivi generali (Appendice C e Tabella 2).

Molti risolutori di problemi provano a passare direttamente dal problema alla soluzione attraverso la tecnica del *trial and error*. Un approccio più efficiente prevede invece di ricercare un problema analogo all'interno di un gruppo di problemi standard ed identificare la/le possibili soluzioni standard ad essi associate.

Attraverso la Matrice delle Contraddizioni, la metodologia TRIZ vi apre il database dei brevetti mondiali per identificare dei principi che possano condurvi a delle soluzioni.

Definire il problema secondo la logica delle contraddizioni, permette di inquadrare il problema nella struttura della Matrice delle Contraddizioni di TRIZ. Tale tabella offre i diversi principi più utilizzati per la risoluzione di problemi analoghi. Il problem solver può quindi concentrarsi sull'adattare i principi standard al problema in analisi.

Le contraddizioni sono intorno a noi, in ogni cosa che vediamo e in ogni pensiero che facciamo, ma solitamente tendiamo ad ignorarle o ad evitarle. (Ad esempio, l'entrata di un autobus dovrebbe essere grande per facilitare l'ingresso e piccola massimizzare il numero di posti a sedere). Se non lo facessimo, dovremmo chiederci: “Cosa succede se?”.

Chiedersi “Cosa succede se?” è diverso dal più usuale “Cosa c'è di sbagliato?”. E' un mezzo per scoprire una nuova applicazione di un fenomeno conosciuto e che spesso diamo per scontato. Esistono anche altre domande che possono aiutarci a scoprire delle soluzioni che normalmente vengono trascurate, ad esempio: “Quali sono i limiti del sistema che derivano prevalentemente dal modo in cui è stato progettato?” oppure “Cosa sarebbe successo se avessimo utilizzato un altro sistema?”.

Prima di approfondire il modo in cui TRIZ facilita questo nuovo modo di pensare ai vostri problemi, diamo un altro sguardo alle contraddizioni fisiche e tecniche.

Contraddizioni Tecniche

Basandosi sui risultati delle proprie analisi condotte su numerosi brevetti, Altshuller definisce un problema come inventivo se contiene almeno una contraddizione. Dal lavoro di Altshuller deriva quindi che un problem solver non è costretto ad analizzare tutti i brevetti di tutte le discipline. Un problema necessita solamente di essere “formattato” secondo le logiche della Matrice delle Contraddizioni.

La determinazione di quale principio inventivo sia meglio utilizzare deriva dall'identificazione del parametro che si sta migliorando e di quello che si sta invece deteriorando. Se l'ordine dei parametri viene invertito, vengono consigliati principi differenti. *(N.d.T. spesso la contraddizione A vs B ha principi consigliati diversi dalla contraddizione simmetrica B vs A).*

Per alcuni tipi di problemi la contraddizione è valida in entrambe le direzioni perché entrambi i parametri hanno bisogno di essere migliorati. In caso simili, si devono prendere in considerazione entrambe le contraddizioni, utilizzando due volte la matrice.

Rappresentare la vostra contraddizione come una combinazione di due dei 39 parametri richiede un'interpretazione abbastanza ampia dei parametri. Il problema della vite ossea presenta una situazione nella quale “la vite viene integrata nell'osso” per migliorare/riparare l'osso. Non c'è nulla tra i 39 parametri presenti in Tabella 1 (o nelle definizioni in Appendice B) che si avvicini a questo concetto. Generalizzando il concetto, migliorare il parametro “vite integrata nell'osso” potrebbe essere ricondotto ad un miglioramento del “Volume di un oggetto stazionario”, quindi il parametro 8. Utilizzando lo stesso processo

di astrazione, la funzione negativa “l’attrezzo non fa presa nella guida” può essere ricondotto ad una degradazione della “Forza”, ovvero il parametro 10.

Tabella 2: I 40 principi solutivi TRIZ

1	Segmentazione	21	Accelerare i tempi
2	Rimozione / estrazione	22	Convertire le azioni negative in positive
3	Condizioni locali	23	Feedback
4	Asimmetria	24	Intermediario
5	Unione/Combinazione	25	Self-service
6	Multifunzionalità	26	Uso di copie
7	Principio della “Matrioska”.	27	Oggetti economici, a vita corta al posto di oggetti durevoli ma costosi
8	Compensazione di peso	28	Sostituzione di sistemi meccanici
9	Anti-azione preliminare	29	Uso di gas e liquidi
10	Azione preliminare	30	Membrane e pellicole
11	Compensare in anticipo	31	Materiali porosi
12	Equipotenzialità	32	Cambiare le proprietà ottiche
13	Inversione	33	Omogeneità
14	Sfericità o curvatura	34	Consumare e rigenerare
15	Dinamicità	35	Cambiamento di parametri
16	Azioni parziali o eccessive	36	Cambiamento di stato
17	Cambio di dimensione	37	Dilatazione termica
18	Vibrazioni meccaniche	38	Forti ossidanti
19	Azione periodica	39	Atmosfera inerte
20	Continuità di azioni utili	40	Materiali compositi

Principi inventivi

Per poter descrivere il concetto di “principio inventivo” proviamo ad analizzare due principi scelti a caso fra i 40.

Il n. 7, conosciuto con il nome di “Principio della Matrioska” (Tabella 3), è largamente utilizzato. Possiamo vedere delle applicazioni di questo principio in diversi prodotti, dalle canne da pesca telescopiche al metro pieghevole dei muratori o ad alcune batterie di pentole da cucina. L’applicazione di questo principio è molto utile nella risoluzione dei problemi relativi a limiti di spazio.

Tabella 3: Il principio n. 7 - Matrioska

a.	Porre un oggetto dentro un altro, che a sua volta è riposto dentro un terzo oggetto <i>Esempio: la matita chiamata “portamine”</i>
b.	Far passare un oggetto attraverso una cavità di un altro <i>Esempio: antenna telescopica</i>

Nell'era in cui viviamo, dominata dalla "simmetria", il principio n. 4- Asimmetria (Tabella 4) può sembrare contro-intuitivo.

Di contro, un esempio di applicazione efficace del concetto di asimmetria può essere trovato nella soluzione applicata ai pneumatici da neve per risolvere il problema della loro rumorosità di rotolamento su fondi asciutti: una spaziatura non uniforme fra i tasselli del battistrada. La non uniformità di spaziatura è relativamente piccola, ma è molto significativa in quanto va in direzione diametralmente opposta rispetto alle richieste di uniformità ricercate e raccomandate dagli specialisti della qualità.

Tabella 4: Il principio n. 4 - Asimmetria

-
- a. Cambiare una forma simmetrica con una asimmetrica
 - b. Se un oggetto è già asimmetrico, aumentare il suo grado di asimmetria
-

Per ragioni estetiche, i sostegni dei motori e dei generatori vengono spesso progettato con forme simmetriche; ma visto che i componenti di questi macchinari hanno un movimento rotatorio, il carico sui montanti risulta essere decisamente asimmetrico. Per ridurre il peso dei componenti e risparmiare materiale, i montanti delle unità caratterizzate da un unico verso di rotazione dovrebbero essere progettati per supportare solo i carichi che essi devono effettivamente sostenere (Figura 1) (*N.d.T. ovvero in modo asimmetrico*).

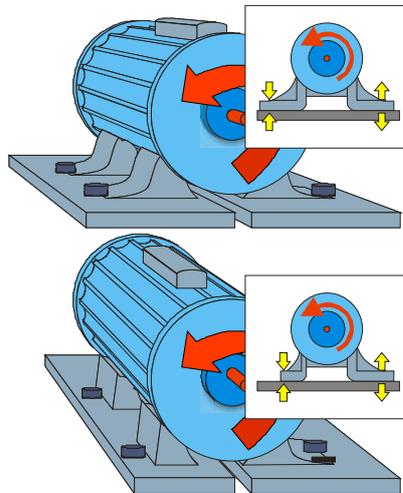


Figura 1: Un esempio di progettazione asimmetrica dei montanti di un motore o di un generatore con rotazione monodirezionale.

I principi sono uno strumento così efficace che spesso, semplicemente scorrendone la lista, vengono stimulate diverse nuove idee; inoltre possono essere utilizzati per problematiche non tecniche, come ad esempio nei problemi di business. L'Appendice C riporta una descrizione di ogni principio.

Per poter apprezzare la potenza dei principi, selezionatene uno a caso e provate a riportare alla mente tutte le applicazioni del principio che fanno parte della vostra esperienza. Poi prendete un qualsiasi prodotto e provate ad individuare quale principio è presente e quale principio potrebbe essere applicato per migliorarlo.

(N.d.T. Ogni cosa che ci circonda è una soluzione a qualche tipo di problema e contiene quindi un “ex-problema” ed una soluzione. Se la soluzione non risolve completamente il problema... avete appena trovato una possibile area di innovazione!)

La Matrice delle Contraddizioni

Dallo studio di oltre 40.000 brevetti, Altshuller classificò i principi più utilizzati per ogni combinazione di parametri. Esistono alcune combinazioni di parametri (*contraddizioni N.d.T.*) per i quali la tabella non mostra alcun principio solutivo; questo deriva dal fatto che, nell'ampio campione di brevetti analizzati, alcune particolari combinazioni di parametri non presentavano un numero statisticamente rilevante di brevetti e quindi di principi solutivi applicati.

(la diagonale determinata dall'intersezione di un parametro con se stesso è composta da caselle vuote. La matrice è infatti uno strumento nato per la risoluzione di contraddizioni tecniche, ovvero di contrapposizioni fra due parametri diversi; un parametro in conflitto con se stesso (devo aumentare una lunghezza e contemporaneamente ridurla) rappresenta una contraddizione fisica, risolvibile con strumenti TRIZ di diverso genere N.d.T.)

Le righe nell'Appendice D riportano i parametri che devono essere migliorati; le colonne contengono invece i parametri che vengono in qualche modo deteriorati in seguito all'azione di miglioramento del parametro nella riga. I principi consigliati si trovano all'intersezione tra le righe e le colonne.

Di solito tale intersezione mostra più di un principio che è stato utilizzato in passato per risolvere la particolare contraddizione. Nella tabella dell'Appendice D, essi vengono presentati in ordine di frequenza decrescente. *(N.d.T. il primo principio consigliato è quello che è stato maggiormente utilizzato per la soluzione della specifica contraddizione. Ciò non significa che sia quello realmente più adatto per la soluzione del vostro problema, ma bensì quello statisticamente più utilizzato per quel tipo di problema).*

Il problema della vite deve essere mappato in modo tale da potersi adattare ai parametri della matrice. Il nodo 7 della Figura 12 - Capitolo 3, ci ha portato alla seguente formulazione del problema: *“Trovare una modalità alternativa per realizzare la funzione (la vite viene integrata nell'osso) che non richieda di (elevata forza d'attrito)”*. Questa definizione di problema può essere parafrasata per potersi adattare ai parametri utilizzati nella matrice delle contraddizioni.

La crescita dell'osso intorno alla vite può essere considerata un miglioramento richiesto del parametro “Volume di un oggetto stazionario” (par. 8); l'elevata forza richiesta per rimuovere la vite e quindi vincere il forte attrito può essere ricondotto al parametro “Forza” (par. 10). L'intersezione tra la riga e la colonna suggerisce di utilizzare i principi 2, 18 e 37 (Figura 2 e Tabella 5).

Questi suggerimenti “generici” (meglio illustrati nell'Appendice C), devono essere adattati per poter essere utilizzati nella situazione contingente. Il secondo (Vibrazioni meccaniche, vedere tabella 6) e il terzo (Dilatazione termica, vedere tabella 7) possono dare spunto ad idee interessanti.

Tabella 5: I principi raccomandati

2	Separazione
18	Vibrazioni meccaniche
37	Dilatazione termica

Parametro che peggiora \ Parametro che migliora		7	8	9	10	11	12
		Volume di un oggetto mobile	Volume di un oggetto stazionario	Velocità	Forza	Sforzo/Pressione	Forma
6	Area di un oggetto stazionario	-	2, 18, 37	-	18, 35, 37	10, 15, 36, 37	-
7	Volume di un oggetto mobile	-	2, 18, 37	-	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4
8	Volume di un oggetto stazionario	-	-	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35
9	Velocità	7, 29, 34	-	-	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34
10	Forza	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	-	18, 21, 11	10, 35, 40, 34
11	Sforzo/Pressione	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	-	35, 4, 15, 10

Figura 3. la Matrice delle Contraddizioni

Il principio delle “Vibrazioni meccaniche” suggerisce ad esempio l'utilizzo delle frequenza di risonanza dell'osso. Piccole microvibrazioni, utili per allentare i bulloni arrugginiti, potrebbero essere utili anche per la nostra vite. Potremmo indirizzare degli ultrasuoni verso la parte filettata della vite. Il paziente (*che ricordiamo essere l'autore di questo libro N.d.T.*), di contro, ha giudicato questi tipi di concept troppo rischiosi, sebbene il concetto di piezo-vibrazione sia sembrato intrigante.

Il principio della “Dilatazione termica” suggerisce di raffreddare la vite per ridurre il diametro (*e magari scaldarla per allungarla e ridurre la pressione fra la testa della vite e l'osso, portando a una contraddizione fisica: raffreddare vs scaldare N.d.T.*)

Tipicamente in un problema reale possono essere individuate diverse contraddizioni tecniche; prendetele tutte in considerazione.

Tabella 6: Il principio n. 18 – Vibrazioni meccaniche

- Far oscillare o vibrare un oggetto
- Se esiste già una vibrazione, aumentarne la frequenza, anche fino a frequenze ultrasoniche.
- Utilizzare la frequenza di risonanza di un oggetto
- Utilizzare vibrator piezoelettrici anziché meccanici
- Utilizzare vibrazioni ultrasoniche insieme a campi elettromagnetici

Esempi

- Per rimuovere il gesso da un arto evitando di ferire il paziente, è possibile sostituire un seghetto mar con un coltello a vibrazioni
- Applicare delle vibrazioni allo stampo durante la fase di riempimento migliora il riempimento caratteristiche finali del getto

Tabella 6: Il principio n. 37 – Dilatazione termica

- a. Utilizzare la dilatazione o la contrazione termica dei materiali
- b. Utilizzare materiali con diversi coefficienti di dilatazione termica

Esempio

1. Per controllare l'apertura del tetto-finestra di una serra, vengono utilizzate delle lastre bimetalliche. Al cambiare della temperatura, le lastre si piegano, e aprono o chiudono il tetto-finestra.
-

I processi di innovazione più significativi sono rappresentati dalla formulazione del problema e dalla scelta della direzione verso cui focalizzare lo sviluppo. La creatività del team/individuo è comunque molto importante affinché sia progettato un sistema che implementi i principi identificati.

Nel caso della vite ossea, ci sono molte questioni tecniche che devono essere prese in considerazione per poter utilizzare i concept emersi.

Qual è la frequenza di risonanza delle ossa umane, in particolare della parte interna fra la testa ed il collo del femore? Qual è il coefficiente di espansione/contrazione rispettivamente dell'acciaio inossidabile e dell'osso? Tutti questi sono "problemi ingegneristici".

Quale è la contrazione di diametro necessaria per liberare la vite dall'osso? Come deve essere progettata l'apparecchiatura affinché soddisfi i requisiti di sterilizzazione delle sale operatorie? Affrontare quest'ultimo problema può richiedere ancora l'utilizzo di TRIZ, ma comunque queste sono tendenzialmente tutte problematiche di tipo ingegneristico. (*diverse da quelle di tipo inventivo N.d.T.*)

Utilizzo della Matrice delle Contraddizioni: un caso di studio

Prendiamo ad esempio un problema relativo alle condutture per il trasporto pneumatico di "pellets metallici". (*pellet: termine tecnico che indica un materiale disperso, che viene compresso e quindi agglomerato in piccoli solidi di forma solitamente sferica. In una condotta di questo tipo, i pellets metallici vengono "sparati" pneumaticamente e quindi movimentati N.d.T.*)

Il sistema esistente era stato progettato per movimentare delle piccole sfere di materiale plastico, ma in seguito ad una modifica di progetto, venne utilizzato per la movimentazione pneumatica di pellets metallici.

Prima di utilizzare la Matrice delle Contraddizioni, raccogliamo alcune informazioni relative alla "storia del problema". Le condutture metalliche controllavano la direzione del flusso di sfere di materiale plastico. Un flusso d'aria veniva utilizzato per muovere le sfere. Lo stesso equipaggiamento è stato quindi utilizzato per la movimentazione delle sferette metalliche, dopo una modifica intercorsa nel progetto. La frequenza dei fermo-impianto per le riparazioni è diventata eccessiva; tali fermi sono dovuti alla veloce usura dei gomiti del sistema di tubazioni, che vengono rapidamente distrutti dall'impatto delle sferette di metallo. (Figura 3)

Una volta raccolte queste informazioni, emergono abbastanza chiaramente diverse contraddizioni.

Immaginate di avere anche dei requisiti ulteriori: il materiale deve essere movimentato ancora più velocemente (aumentare la velocità).

Il pensiero tradizionale porterebbe a rinforzare i gomiti che servono per cambiare la direzione del flusso di sfere. (Tabella 8)

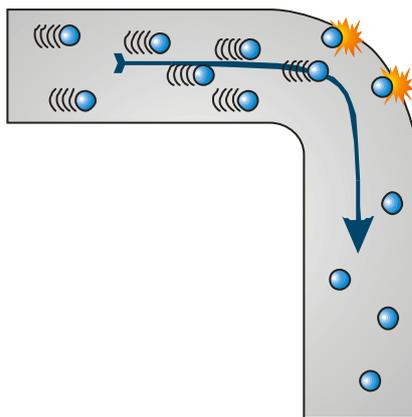


Figura 3. Condotta a gomito per la movimentazione pneumatica dei pellet

I due obiettivi di miglioramento identificati sono il “miglioramento della velocità” e la “diminuzione dell’energia richiesta” (Tabella 9). Per ognuno di questi miglioramenti vi sono diversi parametri che peggiorano di conseguenza.

I parametri che si deteriorano quando viene incrementata la velocità delle sferette metalliche vengono presentati nelle Tabelle 10 e 11 insieme ai principi consigliati per risolvere la contraddizione. Questi principi sono stati identificati attraverso l'uso della Matrice delle Contraddizioni, andando a ricercare l'intersezione fra i parametri rilevanti. I principi sono elencati in ordine di frequenza decrescente (Tabella 10).

Tabella 8: Soluzioni tradizionali

Rinforzare i gomiti della condotta
 Trovare dei modi per cambiare velocemente i gomiti
 Riprogettare la forma dei gomiti
 Utilizzare altri materiali per la realizzazione o il rivestimento interno dei gomiti

Tabella 9: Quale è l'obiettivo del sistema?

Cambiare la direzione dei pellets
 Ridurre il consumo di energia
 Movimentare più velocemente il materiale

Tabella 10: Migliorare la velocità (parametro n. 9)

<i>Parametro che peggiora</i>	<i>Par. n.</i>	<i>Principi consigliati</i>
Affidabilità	27	11, 35, 27, 28
Forza	10	13, 28, 15, 19
Robustezza/ resistenza	14	8, 3, 26, 14
Temperatura	17	28, 30, 36, 2
Energia	19	8, 15, 35, 38
Perdita di materia	23	10, 13, 28, 38
Quantità di materia	26	10, 19, 29, 38
Effetti nocivi derivati	31	2, 24, 35, 21

Tabella 11: Migliorare il parametro “Energia” (parametro n. 19)

<i>Parametro che peggiora</i>	<i>Par. n.</i>	<i>Principi consigliati</i>
Facilità di fabbricazione	32	28, 26, 30
Spreco di tempo	25	15, 17, 13, 16

Tabella 12: La frequenza dei principi consigliati

<i>Principio</i>	<i>Frequenza</i>	
		a) acustico, ottico, olfattivo
28	5	b) magnetico, elettrico
		c) sostituire campi
35	3	
13	3	
15	3	
38	3	

I parametri che degradano quando l'energia richiesta dal sistema viene ridotta (parametro 19) sono presentati insieme con i principi utilizzati per ridurre tale degradazione (Tabella 11).

Un computo dei principi che emergono dall'analisi di tutte le contraddizioni suggerisce di prestare particolare attenzione a quelli che vengono segnalati più frequentemente. I primi cinque sono elencati in Tabella 12.

Principio 28, “*Sostituzione di sistemi meccanici*” è il principio che emerge con più frequenza nell'analisi delle contraddizioni prese in considerazione. Il gomito, così come è fatto, è infatti un sistema meccanico.

Il principio suggerisce:

- a. Sostituire il sistema meccanico con sistemi ottici, acustici oppure olfattivi.
- b. Utilizzare un campo elettrico, magnetico o elettromagnetico per interagire con l'oggetto.
- c. Cambiare il tipo di campo:
 1. da campi stazionari a campi mobili
 2. da campi fissi a campi che cambiano nel tempo
 3. da campi casuali a campi strutturati
- d. Utilizzare un campo insieme a particelle ferromagnetiche

Un esempio potrebbe essere quello di utilizzare un campo elettromagnetico per incrementare il legame tra lo strato di metallo e un materiale termoplastico. Il processo è eseguito in un campo elettromagnetico che applica una forza al metallo.

L'alternativa “b” suggerisce ad esempio di mettere un magnete sul gomito per formare una copertura di sferette metalliche statiche che possono assorbire l'energia di quelle in collisione. Questo principio può dar vita a diverse alternative: una carica elettrica sulle sferette, la magnetizzazione dei pellets, etc.

Alle volte l'introduzione di un principio genera un problema secondario. Se il problema secondario è più facile da risolvere rispetto al problema di partenza, c'è stato comunque un progresso.

Questa modalità di ragionamento verrà utilizzata per tutti gli strumenti di TRIZ presentati nel testo.

Contraddizioni Fisiche e principi di Separazione

Le contraddizioni fisiche rappresentano dei requisiti mutualmente esclusivi fra due stati opposti. Si riferiscono a funzioni, performance o componenti (qualcosa deve essere liscio e ruvido).

Queste contraddizioni vengono risolte separando le opposte caratteristiche (*secondo quattro principi generali di separazione, che verranno illustrati N.d.T.*).

Alle volte la Matrice delle Contraddizioni tecniche non offre concepts in grado di risolvere la contraddizione. In queste situazioni le contraddizioni tecniche possono essere trasformate in contraddizioni fisiche (Tabella 13).

Tabella 13. Contraddizione Fisica

Richiede che una funzione, performance o componente abbia due stati mutualmente esclusivi

Il processo per trasformare una contraddizione tecnica in una contraddizione fisica è dato dall'identificazione della caratteristica di un risultato desiderato e non desiderato. Questa caratteristica definisce la contraddizione fisica.

Una buona sigillatura della parte alta "A" di una fiala di vetro danneggia il medicinale "B" presente nel contenitore.

Il gruppo di lavoro deve individuare una terza funzione "X" in grado di migliorare "A" ma che peggiora "B". Questo elemento "X" potrebbe essere il calore (*che fonde la parte alta della fiala di vetro, sigillandola, ma che scalda anche il contenuto, danneggiandolo N.d.T.*)

Se il calore "X" migliora "A" ma peggiora "B", allora la contraddizione fisica è: "X" è caldo a "X" è freddo (Tabella 14). Possono essere identificate diverse contraddizioni fisiche, ad esempio: con il calore utilizzato attualmente, il materiale "X" genera una buona sigillatura ma nel contempo danneggia la medicina, di contro, non usando il materiale "X", la medicina verrebbe preservata ma si avrebbe una sigillatura non perfetta.

La contraddizione fisica è: "X" deve essere usato, "X" non deve essere usato.

Questo processo può trasformare una singola contraddizione tecnica in più contraddizioni fisiche.

Tabella 14. Contraddizioni Tecniche e Fisiche

Contraddizione tecnica

Riscaldare la parte superiore dell'ampolla "A" causa il degrado del medicinale "B".

Contraddizione fisica

Il calore "X" deve essere caldo per sigillare e il calore "X" deve essere freddo per il medicinale

Il principio di “separazione nello spazio” indicherebbe come possibile soluzione l’immersione del fondo dell’ampolla in un liquido freddo e la sigillatura dell’estremità superiore attraverso l’apporto del calore richiesto alla perfetta fusione del vetro.

Tornando all’esempio della vite, il gruppo di lavoro potrebbe riformulare una contraddizione tecnica come una contraddizione fisica.

Durante il processo di formulazione del problema per la vite ossea descritto nel Capitolo 3, il Nodo 3 è la schematizzazione dell’affermazione:

(elevata forza d’attrito) è richiesto per generare la funzione (la vite viene integrata nell’osso) ma causa [l’attrezzo non fa presa nella guida]

La contraddizione tecnica è rappresentata da:

Migliorare la funzione (la vite viene integrata nell’osso) aumenta la funzione negativa [l’attrezzo non fa presa nella guida].

Il legame è costituito dalla funzione influenzante “X” (elevata forza d’attrito).

Avere un’elevata forza d’attrito e avere una bassa forza d’attrito descrive la contraddizione fisica.

Il principio di *separazione nel tempo* suggerisce che sia presente una elevata forza d’attrito nel momento in cui la vite svolge la sua funzione, ovvero durante la crescita ossea, mentre sia presente una bassa forza d’attrito durante la rimozione della vite.

L’idea di rimuovere la vite utilizzando delle microvibrazioni alla frequenza di risonanza dell’osso è stato rifiutata dal paziente a causa di un problema derivato. La contraddizione tecnica che emerge da questo concept è: “Migliorare (vite fuoriesce facilmente) aumenta [osso viene danneggiato]”.

La contraddizione fisica sarebbe: *vibrazioni ad alta energia e vibrazioni a bassa energia*. Utilizzando nuovamente il principio della *separazione nel tempo* l’alta energia potrebbe essere utilizzata per un istante iniziale di spunto, per poi essere sostituita dalla vibrazione a bassa energia durante il restante tempo di rotazione della vite. Il cambiamento della frequenza potrebbe essere un’altra possibilità di intervento.

Se il problema della vite ossea fosse quello di progettare una nuova vite, allora una delle definizioni del problema potrebbe essere:

Trovare una modalità alternativa per “legare la vite all’osso” che permetta di “mantenere l’osso in posizione” e non determini il fatto che “la vite sia difficile da rimuovere.”

In linguaggio comune: “la vite deve mantenere l’osso in posizione ed essere facile da rimuovere”.

La contraddizione tecnica può essere trasformata in una contraddizione fisica: “La vite è attaccata all’osso, la vite non è attaccata all’osso.”

Utilizzando il principio di *separazione nel tempo* otteniamo: “La vite è attaccata durante il tempo in cui l’osso si ripara e fuoriesce facilmente dopo che la frattura è guarita”. Una possibile soluzione potrebbe essere una vite biodegradabile; soluzioni di questo tipo sono in corso di sperimentazione.

Le lenti da vista forniscono dei facili esempi di applicazione di tre dei quattro principi di separazione comunemente utilizzati. Le lenti vengono utilizzate per vedere sia da vicino che da lontano.

Se gli inventori avessero utilizzato i principi di separazione un secolo fa, avrebbero potuto arrivare alle ora note soluzioni con un centinaio d’anni di anticipo. (Tabella 15).

Tabella 15. Lenti da vista

Separazione nello spazio	Due lenti differenti (bifocali)
Separazione nel tempo	Due paia di lenti, che possono essere intercalate a seconda della necessità
Separazione sotto condizione	Le lenti vengono sostituite da lenti "camera-type" autofocus

Nella ricerca di soluzioni concettuali alle contraddizioni fisiche, ogni principio di separazione dovrebbe essere attentamente analizzato. Non si conosce infatti a priori quale di essi sarà meglio in grado di condurre all'idea migliore.

Ci sono tre differenti modi per formulare le contraddizioni fisiche (Tabella 16). Se il raggiungimento di una funzione utile è associato a qualche effetto dannoso o indesiderato, individuate quale delle contraddizioni (A, B o C) meglio si applica alla vostra situazione.

- A. Il primo tipo di contraddizione fisica richiede che una funzione venga realizzata per raggiungere il risultato desiderato, ma che non venga realizzata per evitare effetti dannosi o indesiderati.

Per esempio, per collegare i pin di un chip alla scheda elettronica, questi devono essere scaldati, ma non dovrebbero essere scaldati per evitare di danneggiare il chip.

- B. Il secondo tipo di contraddizione fisica richiede che una caratteristica abbia un determinato valore per raggiungere un certo risultato, ma che debba avere il valore opposto per evitare effetti dannosi o indesiderati o per raggiungere un altro risultato utile.

Per esempio, l'ala di un aereo dovrebbe essere ampia per decollare, ma piccola per raggiungere un'elevata velocità. Il principio di *Separazione nel tempo* è utile per questo tipo di contraddizione.

- C. La terza contraddizione richiede che un elemento sia presente per raggiungere un certo risultato, ma che non sia presente per evitare effetti dannosi o indesiderati oppure per raggiungere un altro risultato utile.

Ad esempio, il carrello di atterraggio di un velivolo è necessario per l'atterraggio, ma indesiderabile durante il volo.

Tabella 16. Strutture di contraddizioni fisiche

- A La **realizzazione** di una funzione è necessaria per raggiungere un determinato risultato, la **non realizzazione** della funzione è necessaria per evitare effetti nocivi o indesiderati.
Esempio: I pin di un chip devono essere riscaldati per poter essere collegati alla scheda, e non devono essere riscaldati per non danneggiare il chip stesso.
- B Una caratteristica **deve essere alta** per raggiungere un determinato risultato e **deve essere bassa** per evitare effetti nocivi o indesiderati o per raggiungere un altro risultato desiderato.
Esempio: L'ala di un aereo dovrebbe essere ampia per il decollo e piccola per le velocità elevate.
- C Un elemento **deve essere presente** per raggiungere un determinato risultato e **deve essere assente** per evitare effetti nocivi o indesiderati o per raggiungere un altro risultato desiderato.
Esempio: Il carrello di atterraggio di un aereo è necessario per l'atterraggio ma indesiderabile durante il volo.

Vengono di seguito proposti ed illustrati i *quattro principi di separazione* che possono essere utilizzati per eliminare i conflitti fra i requisiti del problema. (Tabella 17).

Tabella 17. Principi di separazione per la risoluzione delle contraddizioni fisiche

Separazione nello spazio
 Separazione nel tempo
 Separazione fra l'intero e le sue parti
 Separazione sotto condizione

Separazione nello spazio

Il principio propone di cercare di separare nello spazio i due requisiti opposti. Se un sistema deve realizzare funzioni contraddittorie oppure operare sotto condizioni contraddittorie, provate (teoricamente o praticamente) a suddividere il sistema in sottosistemi, quindi assegnare ciascuna funzione o condizione contraddittoria a ciascun sottosistema differente.

Esempio

Problema – Dei corpi metallici vengono immersi in una soluzione di sale metallico (nickel, cobalto, cromo) per la deposizione di un rivestimento superficiale. Durante la reazione di riduzione il metallo in soluzione precipita sulla superficie del prodotto.

Tanto più la temperatura è elevata, tanto più rapido è il processo, ma tanto più velocemente la soluzione del bagno si decompone. Quasi il 75% dei componenti chimici finisce col precipitare sul fondo o sulle pareti del contenitore. L'aggiunta di sostanze stabilizzanti non è efficace. Realizzare il processo a basse temperature invece riduce drasticamente la produttività.

Contraddizione – La soluzione diviene evidente con una semplice riformulazione del problema.

Il processo deve essere caldo (per un veloce ed efficace rivestimento) e freddo (per utilizzare in modo efficiente la soluzione di sale metallico). Utilizzando il principio di separazione nello spazio, appare chiaro come solo l'area intorno alla superficie metallica debba necessariamente essere calda.

Soluzione – Il prodotto viene scaldato ad elevate temperature prima di essere immerso nella soluzione fredda. In questo caso la soluzione è scaldata solo nelle vicinanze del prodotto, ma fredda negli altri punti del bagno. Un modo per mantenere il prodotto caldo durante il processo è l'applicazione di una corrente elettrica al corpo metallico, riscaldandolo durante l'immersione nel bagno ed il conseguente processo di rivestimento (Figura 4).

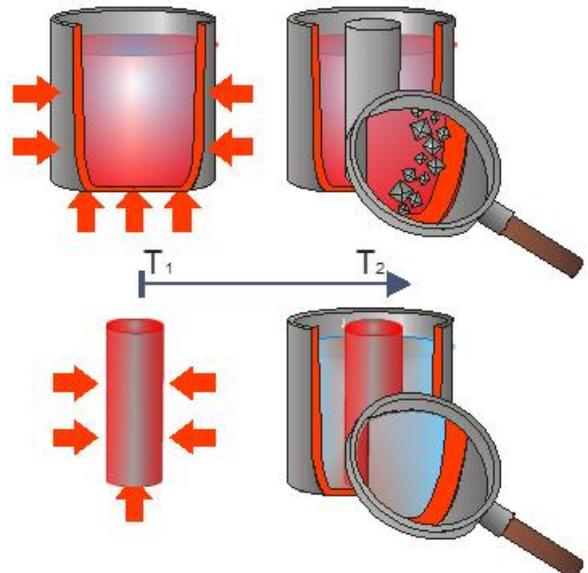


Figura 4. la soluzione al problema caldo-freddo

Separazione nel tempo

Il principio propone di cercare di separare nello tempo i due requisiti opposti.

Se un sistema o un processo, deve realizzare funzioni contraddittorie oppure operare sotto condizioni contrastanti, provate (teoricamente o praticamente) a programmare la sequenza di operazioni del sistema in modo tale che i requisiti, le funzioni o le condizioni che sono in conflitto si realizzino in momenti temporali diversi.

Esempio

Problema – Nella produzione di un filo metallico, il cavo viene fatto passare in un bagno di smalto liquido e poi in un foro calibrato che rimuove l'eccesso di smalto, dando al filo le dimensioni volute. Il foro di calibratura deve essere caldo per assicurare una calibratura affidabile.

Se il movimento del cavo viene interrotto per più di pochi minuti, lo smalto all'interno dello stampo intorno al foro di calibratura cuoce, si indurisce e blocca il cavo. Il processo deve pertanto essere interrotto per tagliare il cavo, pulire lo stampo ed il foro di calibratura.

Contraddizione – Lo stampo deve essere caldo per il corretto svolgimento dell'operazione e freddo per evitare che lo smalto cuocia.

Il principio della separazione nel tempo suggerisce che lo stampo sia caldo mentre il cavo viene tirato attraverso il foro di calibratura, e sia freddo quando il filo non è in movimento.

Esiste un modo per scaldare o non scaldare automaticamente lo stampo e quindi il foro di calibratura? Mentre il cavo viene tirato verso il foro, è presente una grande forza che tende a tirare lo stampo nella stessa direzione. Di contro, quando il movimento del cavo cessa, non c'è più nessuna forza trainante.

Soluzione – Lo stampo potrebbe essere fissato ad una molla. Quando il processo è in corso, il cavo è in trazione e trascina lo stampo con il foro di calibratura nella zona di riscaldamento, comprimendo nel contempo la molla. Lo stampo potrebbe essere riscaldato sia per induzione o per contatto con le pareti calde della camera.

Quando il processo viene interrotto per qualche motivo, il cavo e quindi lo stampo non è più sottoposto a trazione, e la molla può spingere indietro lo stampo verso una zona fredda (Figura 5).

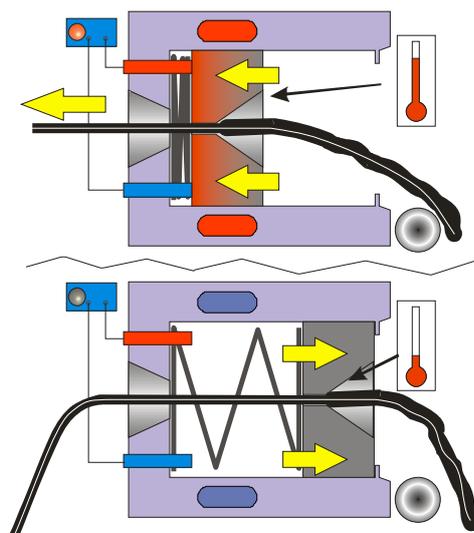


Figura 5. La soluzione ad un'altra contraddizione caldo-freddo

A volte una contraddizione non viene inizialmente espressa come un vincolo temporale. È però possibile però risolvere queste contraddizioni cambiando le caratteristiche del sistema o dell'ambiente.

Esempio

Problema – Quando comparvero per la prima volta i film a schermo panoramico, la loro distribuzione era frenata dal fatto che i proiettori esistenti nella maggior parte delle sale cinematografiche non erano in grado di accettare i nuovi formati delle pellicole.

Il successo del nuovo formato dipendeva quindi dalla capacità di utilizzare i proiettori esistenti per mostrare i nuovi film a schermo panoramico.

Contraddizione – la pellicola deve essere larga per poter mostrare dei film con effetto panoramico, la pellicola deve essere stretta per poter essere inserita nel proiettore.

La contraddizione nel tempo può essere vista come: avere una macchina da presa panoramica per girare il film e avere molti proiettori tradizionali per mostrare il film diversi mesi dopo. Partendo dall'ultima condizione, una macchina da presa tradizionale deve avere un angolo panoramico utilizzando una pellicola tradizionale.

Soluzione – Una soluzione adottata è quella di inserire longitudinalmente dei fotogrammi panoramici nelle pellicole tradizionali, ruotando la macchina da presa di 90 gradi. Le ottiche e i diversi meccanismi dei proiettori erano relativamente facili da modificare per accettare i fotogrammi ruotati (Figura 6)

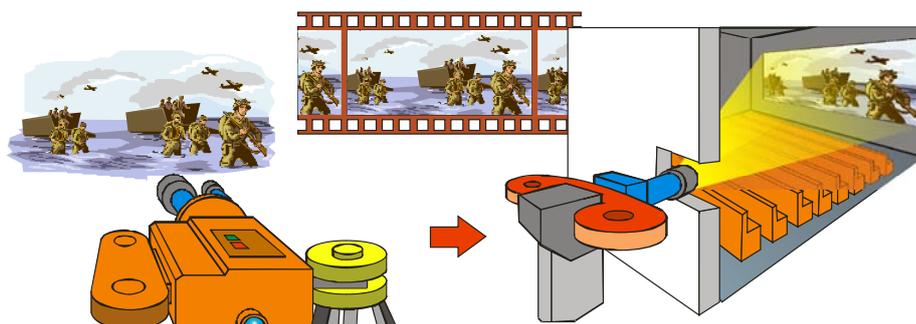


Figura 6. La soluzione al problema della proiezione panoramica

(Le pellicole tradizionali scorrono verticalmente nelle macchine da presa e la larghezza dell'immagine ha quindi come limite la larghezza della pellicola. Registrando le immagini longitudinalmente, la possibile larghezza del fotogramma virtualmente infinita. Nel mondo del cinema sono state utilizzate diverse soluzioni per dare l'effetto panoramico, dalla semplice "mascheratura" della parte alta e bassa della pellicola, fino ad arrivare allo spettacolare CINERAMA, che utilizzava 3 proiettori, uno per la parte destra dello schermo, uno per la sinistra e uno per il centro, il tutto sincronizzato anche con il sonoro attraverso complessi accorgimenti meccanici N.d.T.)

Un'altra soluzione – Una soluzione alternativa è quella di comprimere otticamente le immagini per costringerle dentro i limiti dei fotogrammi tradizionali. L'immagine viene poi otticamente allargata in fase di proiezione per fornire immagini a schermo panoramico. *(Questo tipo di distorsione e contro-distorsione ottica viene realizzato utilizzando lenti anamorfiche N.d.T.)*

Il problema di come mantenere il coordinamento temporale fra l'immagine e la colonna sonora non viene descritto in questa esemplificazione.

Separazione fra l'intero e le sue parti

Il principio propone di separare gli opposti requisiti fra l'oggetto nel suo insieme e le sue parti.

Se un sistema deve realizzare delle funzioni contraddittorie oppure operare sotto condizioni incompatibili, provate a suddividere il sistema e assegnare una delle funzioni o condizioni a un sottosistema (o a più sottosistemi), mentre lasciate al sistema nel suo complesso l'altra funzione o condizione.

Esempio

Problema – Un pezzo di forma complessa può essere difficile da bloccare utilizzando una morsa tradizionale.

Contraddizione – La funzione principale della morsa è fornire una forza uniformemente distribuita (utilizzando ganasce solide e piatte).

Il sottosistema richiede invece di utilizzare qualcosa in grado di uniformarsi alla forma irregolare di un oggetto dai contorni complessi (una ganascia flessibile).

La ganascia deve essere piatta, la ganascia deve essere irregolare.

Soluzione – Inserire una moltitudine di cilindri fra la faccia piana della ganascia e la superficie irregolare del pezzo da bloccare. Ogni boccia può muoversi orizzontalmente in modo tale da adattarsi alla sagoma irregolare del pezzo all'aumentare della pressione, distribuendo nel contempo la pressione sul pezzo in modo uniforme (Figura 7).

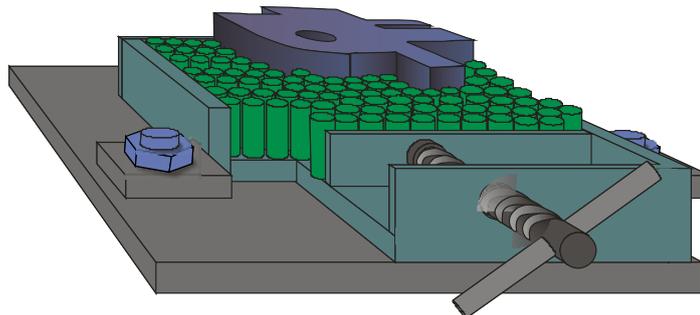


Figura 7. La soluzione al problema della morsa

Altri approcci per separare le contraddizioni

Un'alternativa per trovare la soluzione ad un problema dove un sistema ha delle caratteristiche desiderabili e non desiderabili, è quella di isolare la parte o le parti del sistema o del processo che presenta la caratteristica non voluta.

Esempio

Problema – Un saldatore è tipicamente costituito da una struttura cava che circonda un elemento riscaldante. Questa struttura (che funge da impugnatura) si scalda e può ustionare l'operatore.

Contraddizione – Il saldatore deve essere caldo e freddo.

Soluzione - Se lo spazio tra l'elemento riscaldante e la struttura viene riempito con una schiuma isolante, il pericolo di lesioni diminuisce. Questa è un'innovazione di primo livello poiché la soluzione è data da un semplice incremento dell'isolamento (Figura 8).

Un altro approccio per risolvere una contraddizione in un sistema con proprietà desiderabili e non desiderabili è quello di influenzare in qualche modo il componente che crea problemi all'interno del sistema (per esempio isolandolo o modificando le sue caratteristiche). Cercate di utilizzare in modo utile le proprietà speciali o le caratteristiche specifiche del componente, utilizzando eventualmente qualcosa per stimolare la comparsa di tali caratteristiche o proprietà.

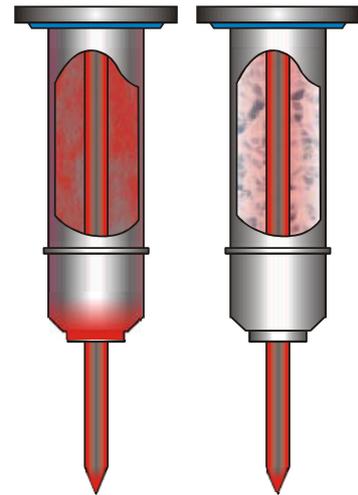


Figura 8. Rendere un saldatore caldo e freddo

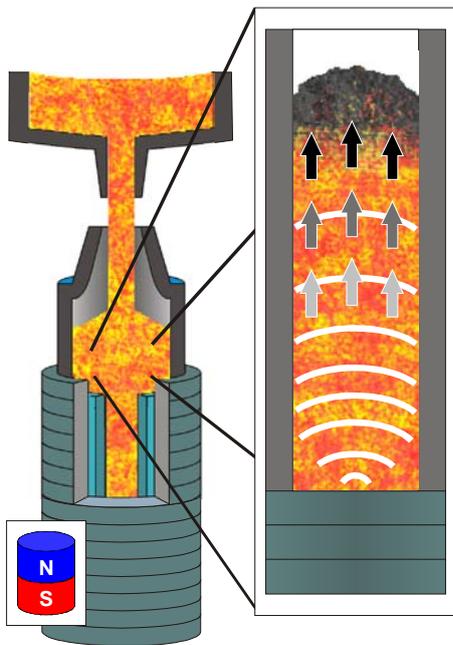


Figura 9. Separare le scorie dall'acciaio fuso

Esempio

Problema – Nelle colate d'acciaio è difficile separare le scorie dal metallo fuso.

Contraddizione – Mischiare dei minerali fusi per formare una lega e non mischiare i minerali per impedire che le impurità dei minerali passino alla lega.

Soluzione – Viene applicato un campo magnetico allo stampo all'interno del quale viene versato l'acciaio con le scorie. Il campo magnetico non influenza le scorie, che si muovono quindi verso l'alto dove possono essere facilmente rimosse (Figura 9).

Separazione sotto condizione

Il principio propone di separare gli opposti requisiti fra l'oggetto nel suo insieme e le sue parti.

Se un sistema deve realizzare delle funzioni contraddittorie oppure operare sotto condizioni incongruenti, provate a suddividere il sistema e assegnare una delle funzioni o condizioni a un sottosistema (o a più sottosistemi), mentre lasciate al sistema nel suo complesso l'altra funzione o condizione.

Il principio propone di separare gli opposti requisiti sotto condizione, ciò può risolvere contraddizioni nelle quali un processo utile viene realizzato quando si realizzano delle particolari condizioni.

Provate a cambiare il sistema o l'ambiente in modo tale che solo il processo utile possa realizzarsi. In una cucina, ad esempio, lo scolapasta ferma la pasta ma non l'acqua.

Esempio

Problema – Una segheria può rivendere utilmente della segatura pulita. Un aspiratore rimuove la segatura che si produce intorno alla lama della sega, convogliandola in un punto di raccolta attraverso un sistema di condotti.

Contraddizione – Il tubo deve avere un grande diametro, il tubo deve avere un piccolo diametro.

Soluzione – Aumentare il diametro del tubo per una distanza breve permette al materiale più pesante di cadere fuori dal convogliatore. *(sfruttando la diversa velocità del flusso d'aria dovuta al diverso diametro dei tubi, è possibile fare in modo di convogliare e quindi raccogliere solo la segatura e non, ad esempio, dei pezzi di legno. N.d.T.)*

Una parola prima di procedere

Individuare il parametro che meglio descrive la contraddizione che state analizzando non è cosa semplice e richiede un cambiamento del vostro modo di pensare. Chi vuole utilizzare TRIZ deve essere tenace e disciplinato per utilizzare i parametri e la matrice.

Vero è che, se prendiamo in considerazione il tempo sprecato nella ricerca di soluzioni con il metodo del Trial and Error, i benefici di analisi strutturate come quelle proposte divengono evidenti.

Il prodotto ideale fornisce la funzione desiderata senza la necessità di un sistema. Il prossimo capitolo descrive l'uso di risorse facilmente disponibili come modalità per avvicinarsi al prodotto ideale.

"Ho visto il futuro, e funziona"

Lincoln Steffens

dopo una visita del 1919 in Unione Sovietica, in "Letters", 1938

5. Il sistema ideale

Quando usare il concetto di sistema ideale

Il sistema ideale è quello che fornisce la funzione desiderata senza bisogno di esistere. La differenza fra sistema attuale e sistema ideale dovrebbe essere ridotto a zero. Il modello ideale diviene un obiettivo cui tendere, distruggendo quindi i tradizionali concetti di sistema efficiente.

(Nella metodologia TRIZ il concetto di sistema ideale cui tendere viene largamente identificato con IFR, ovvero Ideal Final Result. N.d.T.)

Quello di sistema ideale è un concetto molto ampio, mentre la soluzione o l'approssimazione all'ideale dipendono dalle situazioni particolari che ci si trova ad affrontare. Le risorse sono infatti diverse per individui e luoghi differenti.

L'idea di cercare di identificare un'utile funzione primaria che sia soddisfatta da un sistema "non esistente" aiuta ad ideare soluzioni innovative in poco tempo. Alcuni esempi:

I progettisti che si occupavano del sistema di illuminazione dei veicoli lunari, avevano molte difficoltà nel trovare una copertura per le lampadine dei loro mezzi, in grado di resistere alle scosse ed alle vibrazioni generate dal viaggio spaziale. Una proposta di soluzione fu quella di utilizzare le stesse lampadine utilizzate nei carri armati. Quando il capo progetto vide la soluzione proposta, chiese il motivo per cui ci si stava preoccupando tanto per una copertura (*il bulbo in vetro della lampadina N.d.T.*) la cui funzione è di non far entrare in contatto l'ossigeno con il filamento, quando non c'è praticamente ossigeno sulla luna. Il vuoto parziale esistente sulla superficie lunare è una risorsa che elimina la necessità del vetro. La funzione viene quindi soddisfatta senza la necessità di un sistema.

In un successivo programma spaziale per Venere, uno scienziato di fama chiese di poter includere nel modulo spaziale l'equipaggiamento per un suo esperimento importante; il peso del sistema era di circa 10 kg.

Gli fu risposto che non era possibile, in quanto ogni grammo disponibile era già stato assegnato. Non accettando la risposta egli identificò 16 Kg di zavorra e propose di sostituirla con 10 Kg con il suo equipaggiamento. La zavorra era una risorsa che non era stata presa in considerazione.

In altre parole la funzione è eseguita in modo ideale utilizzando risorse esistenti. Il concetto di soluzione ideale dovrebbe essere esplicitamente preso in considerazione nell'applicazione di TRIZ. Definire la soluzione ideale e scostarsi da essa il meno possibile permette di identificare delle sfide tecniche diverse da quelle offerte dalla definizione della contraddizione tecnica.

Un caso di avvicinamento al sistema ideale

Un semplice esempio illustra come il risultato ideale finale spesso venga raggiunto utilizzando risorse esistenti.

Un fornello leggero da campeggio a benzina bianca funziona quando la benzina è nella fase gassosa. Per accenderlo vengono messe alcune gocce di benzina bianca in una cavità presente sul serbatoio, intorno al tubo di ottone che collega il serbatoio al bruciatore. La benzina viene quindi accesa. Il calore riscalda il

tubo di ottone e quindi l'aria all'interno del serbatoio, che crea una pressione in grado di spingere la benzina dal serbatoio al bruciatore. Quando il liquido viene riscaldato fino a divenire gas, il processo si autosostiene: il calore della fiamma si trasmette attraverso il tubo di ottone al serbatoio e quindi al liquido, creando la pressione che spinge il liquido su per il tubo alimentando la fiamma stessa (Figura 1).

(il tutto viene realizzato utilizzando le risorse già presenti nel sistema (fiamma, calore, temperatura di evaporazione della benzina, etc.) evitando la necessità di complessi sistemi per il pompaggio del carburante verso il bruciatore. N.d.T.)

Questa interazione spiega il motivo per cui i campeggiatori invernali che mettono il serbatoio di ottone nella neve o sul ghiaccio non riescono a far funzionare il fornello. In tale situazione, infatti, il calore sottratto dalla neve o dal ghiaccio rappresentano una risorsa ambientale negativa. È quindi necessario isolare in qualche modo il fornello dalla neve.

Un altro esempio di fattori ambientali che diventano risorse utili è il generatore domestico di corrente ideato in Svezia.

Un progetto di ricerca del 1996 condotto in Svezia ha mostrato come dei fattori ambientali negativi possono essere utilizzati per ottenere risultati positivi. Alcuni ricercatori del Royal Institute of Technology di Stoccolma (Anders Killander) studiarono delle modalità alternative per generare elettricità nelle zone di campagna difficilmente raggiungibili dalle normali linee elettriche²⁴. Il risultato ideale è quello di riuscire a generare elettricità ... dal nulla.

Utilizzando il pensiero per analogia, è possibile formulare il seguente ragionamento: la principale differenza fra un motore ed un generatore è l'inversione fra input ed output.

Un generatore converte energia cinetica (rotazione) in elettricità, un motore converte elettricità in energia cinetica (rotazione). Esistono sistemi di misurazione che dipendono da piccoli cambiamenti di alcune proprietà fisiche. Se troviamo un fenomeno fisico che utilizza o genera elettricità, possiamo cercare di utilizzarlo per la soluzione di questo problema.

Guardando agli effetti fisici descritti nell'Appendice A, le modalità di misurazione della temperatura possono offrire numerosi spunti.

L'effetto Seebeck può essere un esempio. Un generatore termoelettrico basato sull'effetto Seebeck può essere interessante.

Andres Killander, il leader del progetto, utilizzò TRIZ durante la sua ricerca.

(Pochi ingegneri elettronici conoscono l'effetto Seebeck, per cui la base di conoscenza strutturata contenuta nell'Appendice A è molto utile se non indispensabile alla soluzione del problema)

Nel 1821 T.J. Seebeck scoprì che in un circuito chiuso, fatto da due metalli conduttori differenti a diversa temperatura, si genera corrente elettrica. La forza elettromotrice che genera la corrente è, in prima approssimazione, direttamente proporzionale alla differenza di temperatura fra i due conduttori. Il coefficiente di proporzionalità dipende principalmente dal tipo di materiale utilizzato (Figura 2 in alto). Per le termocoppie metalliche il coefficiente va da circa 10 a 50 microvolts/K, mentre per le termocoppie che utilizzano materiali semiconduttori, il valore è decisamente più elevato (ad esempio 0,1 V/K).

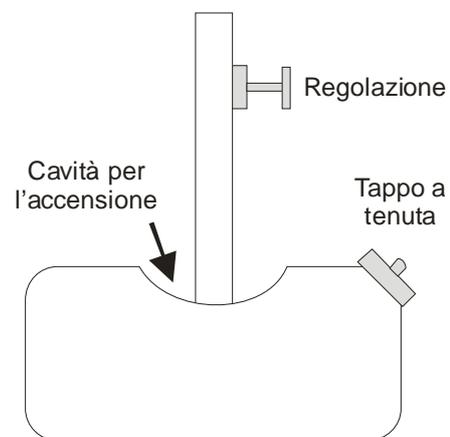


Figura 1. Un tipico fornello da campo

L'effetto Seebeck è spesso utilizzato per misurare la temperatura ed è largamente utilizzato in dispositivi che trasformano direttamente il calore in energia elettrica. Per le termocoppie metalliche l'efficienza di trasformazione è nell'ordine dello 0,1%, mentre per le termocoppie a semiconduttori è di circa 15% o più.

Per generare elettricità è stato utilizzato un dispositivo senza parti mobili, appoggiato sopra una stufa a legna. Il dispositivo era dotato superiormente di alette per il raffreddamento e la generazione del differenziale di temperatura (Figura 2 in basso).

Il sistema descritto che utilizza l'effetto Seebeck per fornire potenza limitata alle case rurali è affidabile ed ha un costo unitario di circa 150 dollari.

Molto probabilmente la richiesta di energia elettrica da parte delle comunità rurali crescerà in un futuro a livelli superiori alle capacità di produzione del dispositivo illustrato. Questo fatto può di contro essere visto come una opportunità per nuove applicazioni dei concetti TRIZ.

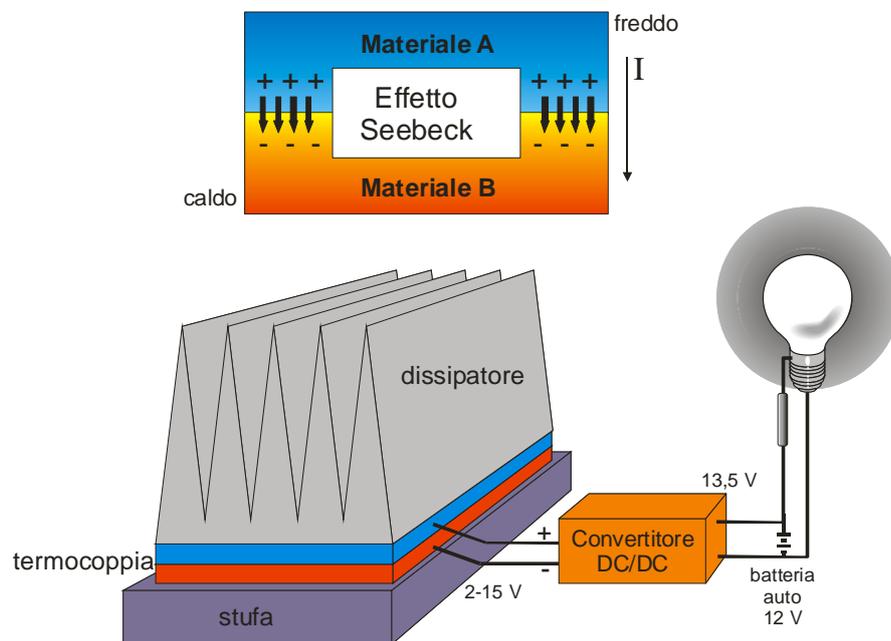


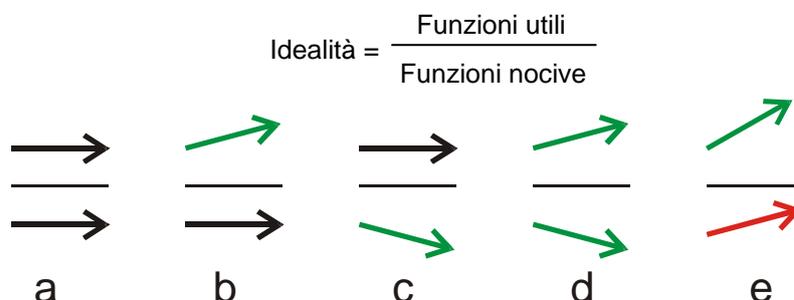
Figura 2. Un'applicazione dell'effetto Seebeck per la generazione di energia elettrica per le unità abitative isolate

Può sembrare strano, nell'attuale era tecnologica, utilizzare della conoscenza datata e dimenticata per risolvere problemi. La maggior parte dei dispositivi elettrici odierni richiede una potenza limitata, rendendo possibile l'utilizzo di generatori basati sull'effetto Seebeck.

La tabella riportata in Appendice A fu creata da Altshuller nel 1976. Un elenco ancora più completo è disponibile in un opuscolo pubblicato da Gorin²⁵ e nel giornale russo "Effetti fisici per inventori ed innovatori"²⁶. Strumenti di questo tipo espandono le risorse intellettuali, aprendo un mondo di possibilità di innovazione.

Cosa è l'idealità?

L'idealità è definita come il rapporto tra la somma delle funzioni utili del sistema e la somma degli effetti indesiderati.



Ogni tipologia di costo (inclusi tutti i tipi di spreco e inquinamento) è compresa negli effetti indesiderati. Questi costi di sistema comprendono lo spazio occupato, il rumore emesso, l'energia consumata, etc. Le modifiche del sistema che portano ad una qualsiasi combinazione di aumento del numeratore e/o diminuzione del denominatore, portano il sistema più vicino all'idealità.

Questa unità di misura teorica (idealità) ci suggerisce di lavorare su soluzioni che:

- mantengono il livello di idealità del sistema attuale
- aumentano il numeratore aggiungendo funzioni o migliorando le prestazioni di alcune funzioni (le più importanti)
- rimuovono funzioni non necessarie per ridurre il denominatore
- riunificano più sottosistemi che erogano diverse funzioni in un unico sistema, allo scopo di ridurre il denominatore
- aumentano il numeratore in modo più che proporzionale all'aumento del denominatore

Il contenitore ideale è un "non contenitore"

Un modo di avvicinare il sistema al sistema ideale può essere visto nell'esempio seguente, riguardante una problematica relativa alla misurazione comparativa della corrosione di un acido su svariati campioni di materiale. Alcuni campioni di leghe diverse vengono posti in un contenitore chiuso riempito di acido. Dopo un certo lasso di tempo, il contenitore viene aperto per misurare l'effetto dell'acido sui campioni.

Purtroppo l'acido corrode fortemente anche le pareti del contenitore. Un possibile rimedio potrebbe essere quello di rivestire le pareti del contenitore con vetro o con qualche sostanza resistente all'acido, ma la soluzione risulterebbe troppo costosa.

Il concetto di sistema Ideale ci spinge a pensare ad un campione esposto alla corrosione dell'acido, ma senza richiedere l'uso di un contenitore. Il problema così formulato si trasforma quindi nella ricerca di un modo per mantenere l'acido in contatto con il campione senza la presenza di un contenitore.

Alcune risorse disponibili sono il campione, l'aria, la gravità, la forza di adesione, etc. La soluzione diviene ovvia: utilizzare il campione stesso come contenitore (Figura 3). Questa soluzione permette inoltre di

aumentare il numero di campioni che si possono testare nello stesso momento, in quanto la dimensione del container non è più un vincolo.

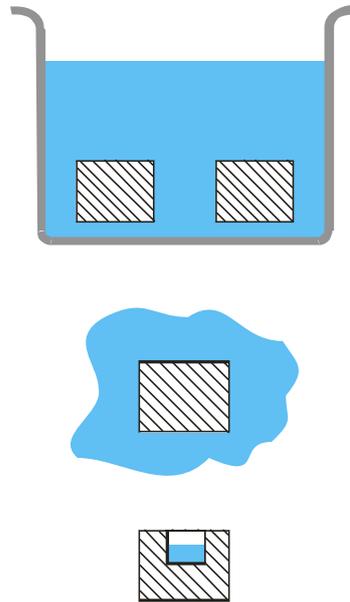


Figura 3. Utilizzo dei campioni come contenitori

TRIZ fornisce due approcci generali per raggiungere soluzioni vicine al sistema ideale (che incrementano quindi il rapporto tra le funzioni utili e quelle nocive).

Uso delle risorse

Risorsa è ogni sostanza (inclusi gli sprechi) disponibile nel sistema o nel suo ambiente che ha la capacità funzionale o tecnologica di compiere funzioni aggiuntive.

Alcuni esempi di risorse sono: riserve di energia, il tempo libero, lo spazio non occupato, le informazioni, etc.

I membri della comunità TRIZ affermano scherzando che la risorsa più utile è “niente”. Lasciando da parte le battute, il “niente” può essere invece qualcosa se viene visto in collegamento alla temperatura o al suono, ad esempio. I doppi vetri o i pannelli fonoassorbenti sono perfetti esempi di “niente” che fa qualcosa.

Uso degli effetti: fisici, chimici, geometrici, etc.

Spesso un sistema complesso può essere sostituito con un sistema più semplice se si utilizza un effetto fisico, chimico o geometrico. Ad esempio, nella realizzazione delle piastre di calcestruzzo precomprese, i ferri delle armature vengono tirati prima di versare il calcestruzzo. Al posto di un complesso sistema idraulico, è possibile usare il modo proficuo il coefficiente di dilatazione termica, scaldando i ferri d'armatura per farli allungare, bloccandoli poi in posizione e lasciandoli raffreddare.

(il processo tradizionale prevede di sottoporre a trazione le barre ad aderenza migliorata, ovvero con nervature), versare il calcestruzzo, aspettare una parziale maturazione dello stesso e rilasciare

gradatamente le barre. La forza di trazione viene quindi restituita sotto forma di forza di compressione. N.d.T.)

Guardiamo ora come l'uso delle risorse può migliorare un sistema.

Una compagnia nord-americana aveva bisogno di ideare un "gancio ideale" per appendere e riposizionare a piacere i fogli di una lavagna a fogli mobili. La soluzione adottata è sorprendentemente semplice: usare i fogli stessi, rendendo quindi ogni foglio riposizionabile applicando una striscia adesiva sul retro di ciascun foglio. Il blocco e i fogli possono così essere posizionati sul cavalletto o direttamente sul muro.

I fenomeni naturali sono risorse relativamente gratis. Durante il periodo coloniale i lavoratori tagliavano il granito trapanando dei fori e riempiendoli poi d'acqua. L'aumento di volume caratteristico del passaggio dell'acqua allo stato solido (congelamento), provocava la rottura del granito.

Alcuni sistemi mal concepiti sono il risultato dell'aver ignorato l'esistenza di fenomeni naturali potenzialmente utili.

Un vecchio forno per la polimerizzazione (curing) di materiali plastici era progettata in modo tale da far entrare dell'aria calda al centro del pavimento, farla fluire secondo un particolare percorso e poi farla uscire dalla parte superiore.

Un nuovo forno da 1 milione di dollari faceva entrare l'aria calda dall'alto per poi farla uscire dai lati.

Le aziende che acquistarono il nuovo forno dovettero realizzare una serie di interventi per realizzare un complesso sistema di deflettori, al fine di ricreare l'uniforme gradiente di temperatura che il vecchio forno creava naturalmente.

Il vecchio progetto sfruttava infatti il semplice fenomeno naturale della tendenza dell'aria calda ad andare verso l'alto.

Sono disponibili più di 250 effetti fisici (esempio: l'espansione termica può essere utilizzata per regolazioni di precisione).

Inoltre vi sono più di 120 effetti chimici (esempio: la corrosione chimica può servire per rimuovere del materiale) e 50 effetti geometrici (esempio: una fascia realizzata ad anello di Moebius aumenta la superficie) che possono essere applicati a una varietà di situazioni. Chi risolve i problemi ha bisogno che queste informazioni vengano presentate in modo da essere facilmente reperibili.

In tabella 1 sono indicati 6 possibili approcci per il raggiungimento del sistema ideale.

Tabella 1. Il cammino verso l'idealità

-
- | | |
|----|---|
| 1. | Eliminare funzioni ausiliarie |
| 2. | Eliminare alcuni elementi del sistema |
| 3. | Identificare possibilità di "self-service" |
| 4. | Rimpiazzare elementi, parti o l'intero sistema |
| 5. | Cambiare il principio operativo su cui si basa il sistema |
| 6. | Uso delle risorse |
-

I sei percorsi per migliorare il grado di idealità

1. Eliminare funzioni ausiliarie

Le funzioni ausiliarie forniscono supporto e/o contribuiscono all'esecuzione delle funzioni principali. In molte situazioni le funzioni ausiliarie potrebbero essere eliminate, insieme agli elementi e/o alle parti associate alla loro realizzazione, senza deteriorare la funzione principale.

Esempio: Verniciare senza l'uso di solventi

Il tradizionale metodo di verniciatura di parti metalliche, rilascia in ambiente fumi pericolosi derivanti dai solventi utilizzati. Una possibile soluzione prevede l'utilizzo di un campo elettrostatico per far aderire la vernice in polvere alla parte metallica. La polvere verrebbe poi scaldata e fusa, ricoprendo la parte metallica senza l'uso di solventi (Figura 4).

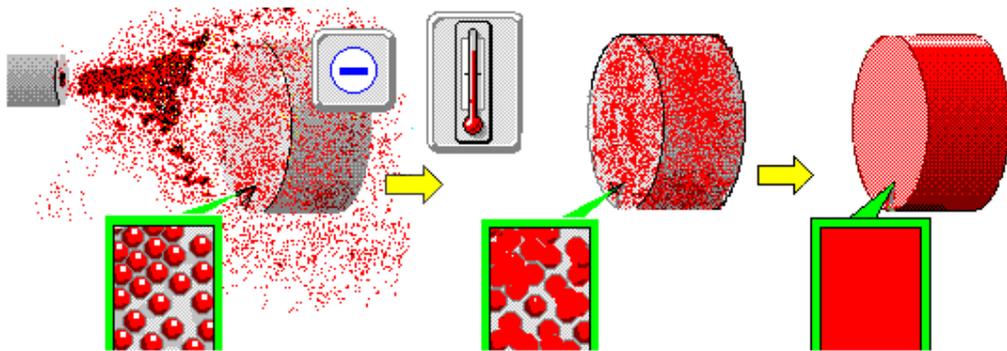


Figura 4. Verniciatura senza solvente

2. Eliminare alcuni elementi del sistema

Considerate la possibilità di eliminare uno o più elementi del sistema, delegando la loro funzione alle risorse. A questo scopo utilizzate le risorse disponibili identificate nell'ISQ del capitolo 2.

Sostanze come risorsa (risorse-sostanza o risorse-materiali)

Le sostanze che possono essere risorse comprendono qualsiasi materiale di cui sono composti il sistema e l'ambiente che lo circonda. Includiamo nel concetto di risorse facilmente disponibili anche risorse quali: scarti, risorse derivate e modificazioni di sostanze.

Sprechi

Materie prime o prodotti

Elementi del sistema

Sostanze poco costose

Acqua

Risorse derivate

(non disponibili immediatamente nella forma desiderata ma trasformate in modo tale da poter essere utilmente utilizzate N.d.T.)

Scarti trasformati

Materie prime o prodotti trasformati
 Altre sostanze in qualche modo trasformate
 Acqua modificata

Modificazioni di sostanze

Passaggi di stato
 Reazioni chimiche
 Applicazione di effetti fisici
 Trattamenti termici
 Frammentazione
 Decomposizione
 Trasformazione in uno stato mobile
 Creazione di miscugli / mix
 Introduzione di additivi
 Ionizzazione (ricombinazione)
 Trattamento fisico e chimico dell'acqua

Esempio (Modificazione di sostanze - Ionizzazione):

Miglioramento dell'accuratezza di una saldatura chimica mediante un effetto fisico.

I pezzi che non possono tollerare alte temperature possono essere uniti grazie ad una saldatura chimica; a questo fine viene utilizzato un reagente in grado di reagire con entrambi i pezzi da saldare.

Per migliorare l'accuratezza della saldatura è possibile utilizzare un reagente che reagisca quando esposto a luce ultravioletta. Nel momento in cui i pezzi ed il reagente sono correttamente posizionati, viene focalizzato un raggio UV sulla zona di saldatura, innescando la reazione chimica (Figura 5).

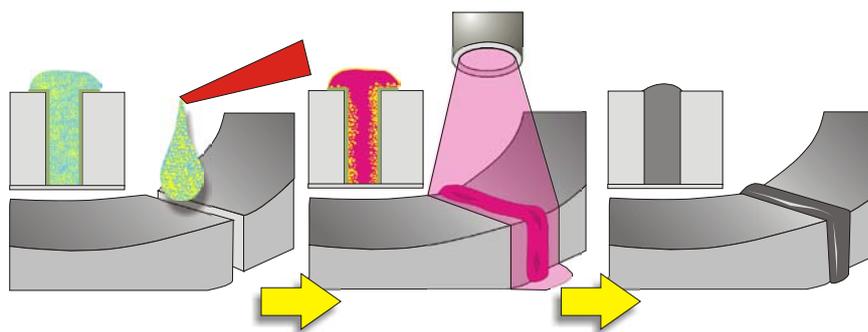


Figura 5. Luce ultravioletta utilizzata nella saldatura chimica: 1) applicazione del reagente, 2) esposizione ai raggi ultravioletti, 3) saldatura finita.

Funzioni come risorsa (risorse funzionali)

Con il termine “risorse funzionali” si intende la capacità di un sistema o del suo ambiente di compiere funzioni aggiuntive. Un super-effetto è un beneficio aggiuntivo (e inaspettato) che nasce come risultato di

un'innovazione. Ad esempio allenando un braccio ci si aspetta che la massa ossea aumenti. Il super-effetto è che anche la massa ossea dell'altro braccio aumenta.

Le risorse funzionali comprendono:

- Applicazione di funzioni esistenti
- Applicazione di super-effetti
- Applicazione di funzioni dannose (a scopi utili)

Esempio (Risorse funzionali- Applicazione di funzioni dannose):

Come usare in modo utile del sangue di tipo non compatibile

Se in una trasfusione viene utilizzato un tipo di sangue incompatibile con quello del paziente, i due tipi di sangue, unendosi, determineranno la formazione di coaguli. Questo effetto può però essere utilizzato in caso di emergenza per aiutare a fermare un'emorragia applicando alla ferita un tampone imbevuto di sangue incompatibile (Figura 6). Con gli odierni problemi di AIDS, questa soluzione potrebbe avere degli effetti dannosi.

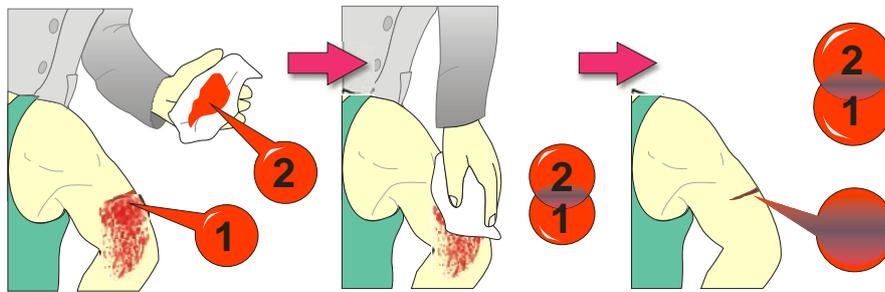


Figura 6. Una pezza imbevuta di sangue incompatibile può fermare un'emorragia, causando la coagulazione del flusso di sangue.

Campi come risorsa (risorse di campo)

Le risorse di campo possono svolgere le funzioni di elementi del sistema. La differenza di potenziale elettrico tra la ionosfera e il suolo produce un campo elettrico a bassa capacitanza di circa 100V/m. (Ciò significa che il potenziale elettrico fra i piedi e la testa di un essere umano all'aperto è circa uguale alla propria altezza espressa in centimetri). Si è pensato di utilizzare questo campo elettrico per il controllo degli aeroplani in volo a basse quote (Figura 7).

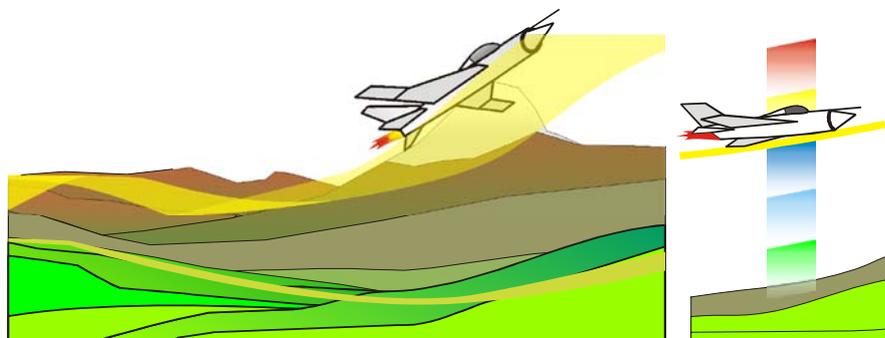


Figura 7. Un campo elettrico a bassa capacitanza può essere utilizzato per il controllo degli aeroplani a bassa quota.

3. Identificare possibilità di “self-service”

Valutate le possibilità di self-service del vostro sistema. Cercate funzioni ausiliarie che vengono realizzate simultaneamente o a spese della funzione principale. Cercate di sostituire gli elementi che erogano le funzioni ausiliarie sfruttando le capacità degli elementi più direttamente collegati con la realizzazione della funzione principale. In questo modo il sistema diviene più efficiente; l'esempio del test di corrosione illustrato precedentemente è un possibile esempio di self-service (Figura 3).

Esempio: far ruotare dei pesanti rotori durante il trasporto

Macchine elettriche, motori turbojet e altri macchinari con rotori pesanti montati su cuscinetti a sfera sono difficili da trasportare; spesso le oscillazioni e i colpi che subiscono durante il trasporto danneggiano i cuscinetti, che vengono sollecitati staticamente (*il rotore non è infatti in rotazione, ma è bloccato oppure oscilla su di un punto di equilibrio N.d.T.*).

Un modo per evitare questo inconveniente è quello di mantenere il rotore in rotazione durante il trasporto. Esistono motori appositi in grado di svolgere questo compito, ma sono decisamente costosi.

Esiste però una possibilità alternativa: le oscillazioni stesse possono essere utilizzate per mantenere in rotazione il rotore.

Una sorta di pendolo viene attaccato all'albero del rotore e collegato ad un sistema a “cricchetto” che permette il movimento in una sola direzione. La forza delle oscillazioni e dei colpi fa muovere il pendolo in alto che, nel suo movimento di ritorno, muove il cricchetto e fa ruotare il rotore (Figura 8).

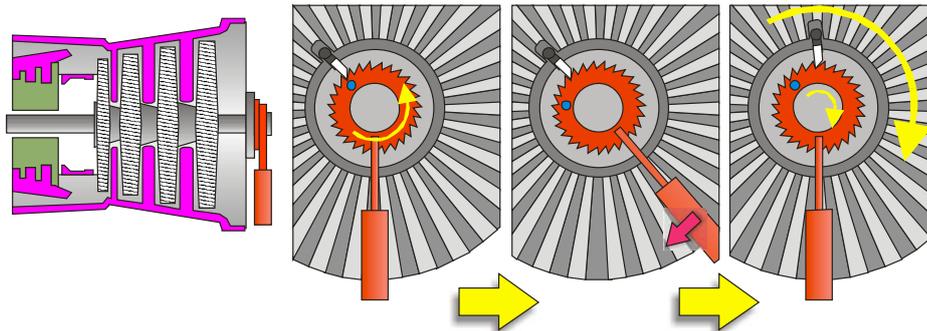


Figura 7. Un pendolo può essere utilizzato per mantenere in rotazione un rotore durante il trasporto.

4. Rimpiazzare elementi, parti o l'intero sistema

Prendete in considerazione l'ipotesi di:

- agire su un modello o una copia del sistema
- sostituire un prodotto complesso (o una parte di esso) con una versione semplificata oppure con una copia
- utilizzare (temporaneamente o permanentemente) un'immagine dell'oggetto
- utilizzare un modello in scala reale o altra scala dal quale eliminare gli elementi che causano le proprietà indesiderate. In particolare, prendete in considerazione l'uso della simulazione.

Esempio: simulazione della tenuta delle ruote dei carrelli durante l'atterraggio

La tenuta (grip) dei pneumatici degli aeroplani durante l'atterraggio in caso di pioggia è un dato abbastanza incerto. Per avere informazioni reali sulla tenuta delle gomme viene utilizzato un veicolo dotato di un pneumatico in grado di simulare le condizioni operative di una gomma del carrello di atterraggio.

Il pneumatico test viene fatto ruotare al 90% della velocità di rotazione degli altri pneumatici. Il veicolo viene quindi fatto passare sulla pista di atterraggio e i dati provenienti da un sensore montato sulla ruota test vengono processati da un computer e segnalati al pilota impegnato nelle manovre di atterraggio.

Gli aeroporti di Washington, Hartford, Buffalo, Detroit ed Atlanta sono dotati di questo strumento di sicurezza (Figura 9).

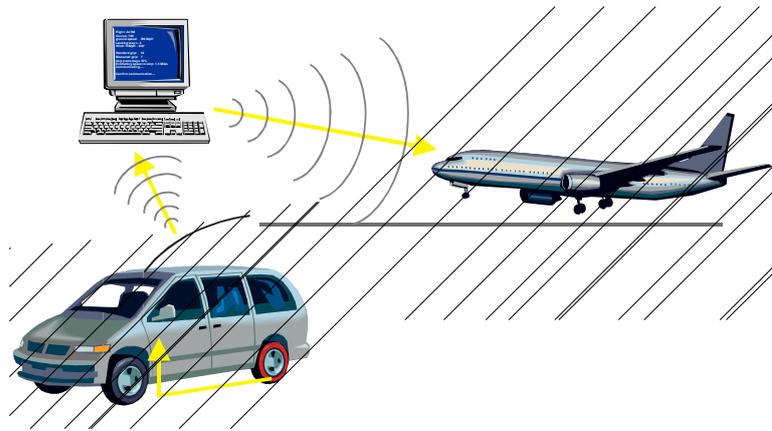


Figura 9. Un veicolo di test può fornire agli aerei in arrivo informazioni aggiornate sull'aderenza reale della pista di atterraggio.

5. Cambiare il principio operativo su cui si basa il sistema

Per semplificare un sistema o un processo, si consideri la possibilità di cambiare il principio operativo alla base del sistema stesso.

Esempio: mantenere piana una lastra di vetro ammorbidito

Per la realizzazione di grandi lastre, una lastra di vetro calda e quindi ammorbidita (*deformabile N.d.T.*) viene movimentata utilizzando un nastro trasportatore a rulli. La deformabilità della lastra ne provoca la deformazione. Il materiale, infatti, tende a seguire il profilo dei rulli trasportatori e generare quindi delle difettosità di planarità (*un effetto tipo "biscia" N.d.T.*)

Il sistema ideale non ha ovviamente nessuna incurvatura. Al diminuire delle dimensioni dei rulli, l'effetto "biscia" diminuisce.

Quale è il rullo più piccolo possibile? Una molecola!. Una soluzione TRIZ è quella di trasportare la lastra e mantenerla piana facendola galleggiare in un bagno di stagno fuso (Figura 10). (*il peso specifico dello stagno è di 7,28 g/cm³, contro i 2,5 circa del vetro, quindi il vetro galleggia. La temperatura di fusione dello stagno è di 232° circa, mentre la temperatura di rammollimento del vetro è superiore ai 630°, con fusione a circa 1500° N.d.T.*)

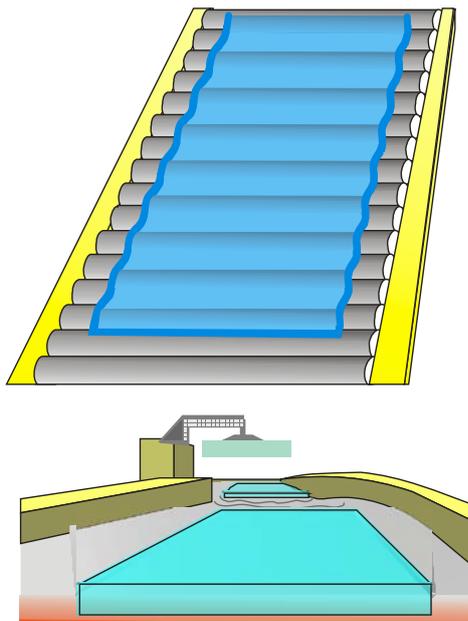


Figura 10. Facendo galleggiare le lastre di vetro calde su un letto di stagno fuso, è possibile prevenire le incurvature e le increspature che si creavano durante il processo produttivo tradizionale, con l'uso di nastri a rulli.

6. Uso delle risorse

Per risorsa si intende ogni sostanza, campo (energia), proprietà di un campo, caratteristiche funzionali e ogni altro attributo di un sistema e del suo ambiente che sia disponibile per migliorare il sistema stesso.

Le risorse possono essere suddivise in diverse categorie.

Le *risorse facilmente disponibili* sono risorse che possono essere utilizzate nel loro stato attuale. Le *risorse derivate* sono invece risorse che possono essere utilizzate dopo una o più trasformazioni di qualche tipo. Le risorse-sostanza, le risorse-campo, le risorse funzionali, le risorse di spazio e quelle di tempo includono tutti gli elementi disponibili nel sistema.

Risorse-sostanza

Come precedentemente illustrato, le risorse-sostanza includono tutti i materiali di cui sono composti il sistema ed il suo ambiente. In linea di principio, qualsiasi sistema che non abbia ancora raggiunto l'ideale dovrebbe avere risorse-sostanza disponibili.

Esempio: Utilizzo di uno scarto inquinante per... prevenire l'inquinamento.

Per prevenire l'inquinamento i fumi provenienti dalle centrali termoelettriche devono essere trattati con sostanze alcaline. Le centrali a carbone producono delle scorie alcaline, che rappresentano anch'esse una fonte di inquinamento. (Figura 11).

Utilizzando i reflui alcalini provenienti dal lavaggio delle scorie alcaline per il trattamento dei fumi di combustione, è possibile fare in modo che due effetti nocivi si neutralizzino a vicenda (Figura 11).

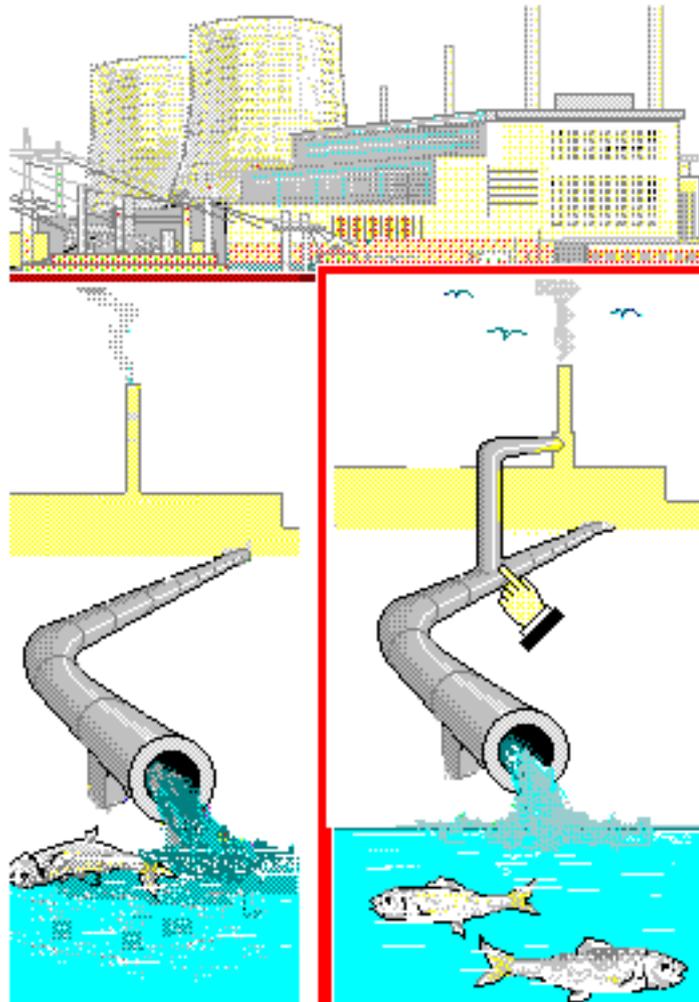


Figura 11: Il refluo alcalino può essere utilizzato per il trattamento dei fumi di combustione, in modo tale che i due inquinanti si neutralizzino a vicenda

Esempio: Utilizzare un elemento del sistema per prevenire l'inquinamento

I gas di scarico provenienti dalle escavatrici e dai camion pesanti utilizzati nelle profonde miniere a cielo aperto, vengono filtrati utilizzando lo stesso prodotto estratto (ad esempio rocce frantumate, carbone, sabbia, etc).

I tubi di scarico dei camion vengono fatti confluire nel cassone di carico del materiale, laddove i gas di scarico vengono filtrati dal contenuto del cassone stesso (Figura 12).

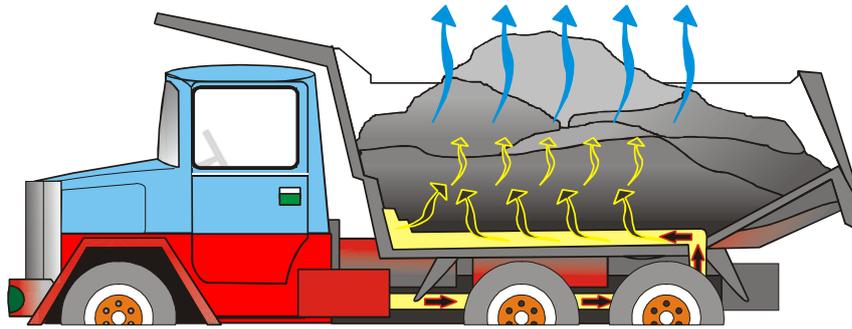


Figura 12: Il carico di un camion, come il materiale estratto da una cava, può essere utilizzato per filtrare i gas di scarico dannosi

Questo metodo può essere utilizzato soltanto quando il camion è carico; di contro un camion vuoto produce meno gas di scarico.

Sono inoltre possibili altre soluzioni, dipendendo dalle risorse disponibili nella cava a cielo aperto. Nelle regioni nordiche, ad esempio, viene utilizzata la neve come filtro.

Esempio: Misurare la temperatura di un sistema utilizzando un elemento del sistema stesso

Per prevenire il surriscaldamento dei componenti dei macchinari (ad esempio dei cuscinetti), viene installato un sistema di controllo della temperatura che tipicamente è costituito da termocoppie posizionate dove è più probabile che si verifichi il surriscaldamento.

I cuscinetti a strisciamento spesso sono composti da un elettroconduttore inserito in un anello di ferro fissato all'interno del corpo del componente. Il surriscaldamento può essere prevenuto utilizzando un contatto tra l'anello di ferro e il corpo come una termocoppia. In questo modo il componente viene spento se la termocoppia rileva un valore di temperatura superiore ad un valore predeterminato (Figura 13).

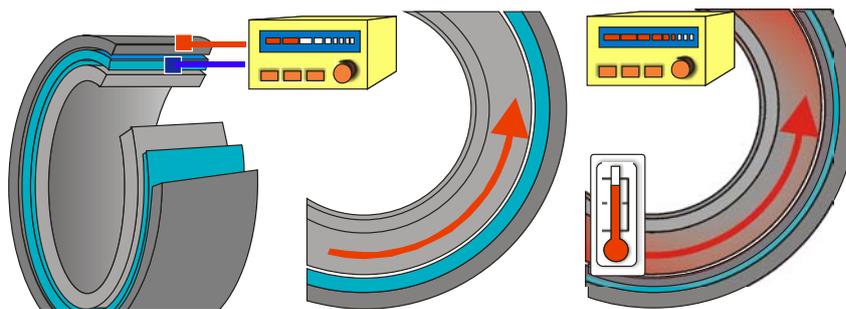


Figura 13. Dei cuscinetti a strisciamento possono essere modificati in modo da essere utilizzati come una termocoppia, prevenendone il surriscaldamento

Esempio: Utilizzo di una risorsa naturale per prevenire un rischio.

Uno dei pericoli nelle miniere di carbone è la possibilità di esplosione dovuta alla polvere di carbone. Nelle miniere di carbone del nord il pericolo di queste esplosioni viene ridotto soffiando la neve nell'area interessata. La neve si accumula e lentamente si scioglie, aumentando l'umidità dell'aria. In questo modo la polvere secca di carbone in sospensione viene "lavata" dall'umidità presente nell'aria. (Figura 14).

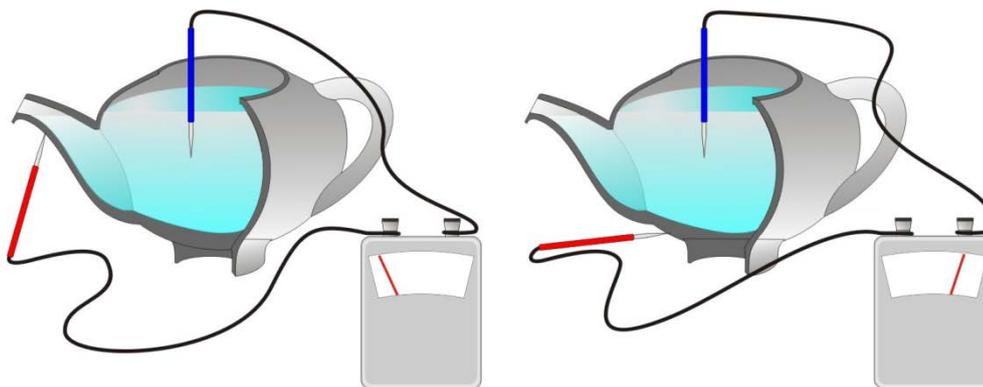


Figura 15. Utilizzando l'acqua e un misuratore di resistenza elettrica è possibile misurare lo spessore delle pareti di un vaso

Risorse derivate

Le *risorse derivate* sono risorse che possono essere utilizzate dopo una trasformazione di qualche tipo. I materiali grezzi, i prodotti, gli scarti ed altri elementi del sistema compresi l'acqua, l'aria, etc. che non possono essere utilizzati nello stato in cui si trovano, possono magari essere trasformati o modificati e diventare risorse utili.

Esempio: Modificare rifiuti per risparmiare risorse.

Ristoranti e bar fanno largo uso di sapone per lavare i piatti. Per risparmiare il sapone gli utensili potrebbero essere messi cosparsi di bicarbonato di sodio prima di essere lavati. Le parti di sostanze grasse sugli utensili reagiscono con il bicarbonato formando sali di acidi grassi, ovvero... sapone. In questo modo viene autonomamente generata una pellicola di sapone proprio sopra gli utensili che più necessitano di essere puliti, diminuendo la necessità di sapone (Figura 16).

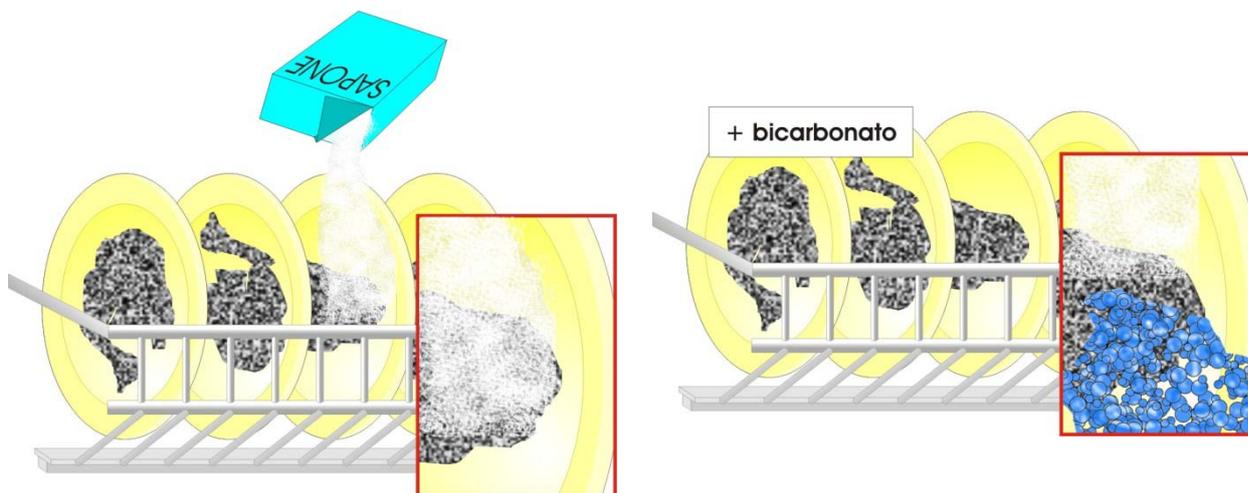


Figura 16. Il bicarbonato di sodio, a contatto con gli acidi grassi dei residui di cibo, genera sapone. Questo effetto può essere utilizzato per ridurre il sapone necessario per lavare i piatti.

Alcune serre immagazzinano calore in contenitori d'acqua o nelle rocce. Utilizzando l'acqua è possibile immagazzinare solamente una caloria per grado Celsius per grammo. Di contro, senza nessuna variazione

di temperatura, ogni grammo di ghiaccio richiede 79.9 calorie per passare dallo stato solido a quello liquido.

In un comune libro di chimica e fisica, ad esempio in *“The Handbook of Chemistry and Physics (CRC Press)”*, è possibile trovare una lista di sostanze chimiche che hanno una transizione di stato a temperature intorno ai 26°. Il più vicino è l'alcol tert-butilico, che presenta una temperatura di fusione di 25,4° ed un calore di fusione pari a 21 calorie²⁷. Utilizzando questa sostanza e la caratteristica dei materiali nella trasformazione di stato, è possibile immagazzinare più calore e/o risparmiare volume.

(mentre il calore specifico è la quantità di energia che serve per far aumentare di un grado la temperatura di un grammo di sostanza, il calore di fusione è l'energia che serve per far passare un grammo di una sostanza dallo stato solido allo stato liquido. Tale energia viene poi rilasciata nella transizione di fase opposta, dallo stato liquido allo stato solido. La quantità di energia in gioco è superiore anche di uno o più ordini di grandezza. N.d.T.).

Sostanze modificate

Come per le risorse derivate, la trasformazione delle sostanze può essere utilizzata per superare degli ostacoli apparenti. Cercate quindi delle modalità per superare gli ostacoli che vi separano dalla soluzione del problema modificando qualcosa all'interno del sistema esistente.

Potete modificare una sostanza nel sistema per ottenere più (o meno) spazio, più (o meno) tempo, o ottenere direttamente l'obiettivo del sistema?

Potete modificare una sostanza per eliminare un effetto o un una sostanza indesiderata? L'eliminazione di una sostanza potrebbe risultare più semplice se la sostanza stessa viene cambiata in qualche modo, facendola ad esempio sublimare, evaporare, seccare, macinandola, fondendola, dissolvendola chimicamente, etc.

Esempio: Sciogliere un oggetto dopo che ha svolto la sua funzione utile

I dischi di argilla che vengono utilizzati nel tiro a volo vengono chiamati *“clay-pigeons”*, ovvero piccioni d'argilla.

Dopo una sessione di tiro a volo, il suolo resta ricoperto dai pezzi dei dischi d'argilla utilizzati.

Dei dischi di ghiaccio potrebbero risultare meno costosi e, soprattutto, non sarebbe necessario raccogliere i frammenti, visto che si scioglierebbero naturalmente. Dei dischi fatti di materiale concimante potrebbero avere anche una funzione di fertilizzazione del terreno (Figura 17).

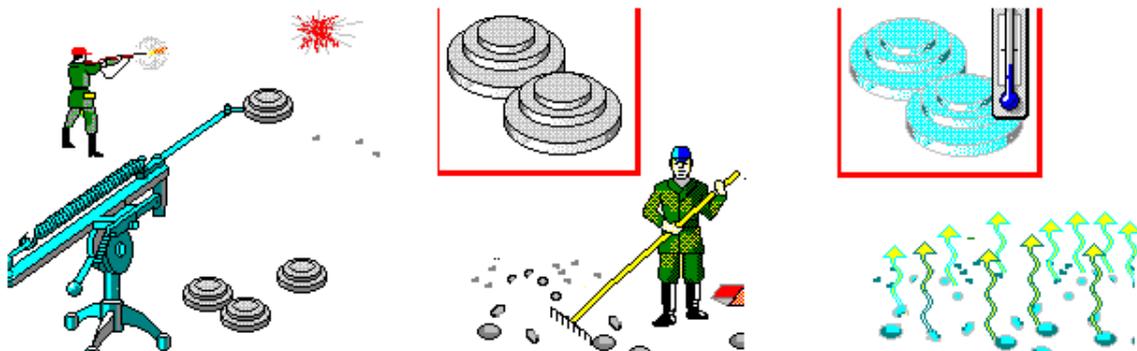


Figura 17. piattelli fatti di ghiaccio o di materiale concimante eliminano la necessità di raccogliere i frammenti nei campi di tiro a volo.

Risorse di tempo

Le risorse di tempo comprendono gli intervalli di tempo prima l'inizio, dopo la fine, tra cicli di un processo tecnologico, etc. che sono parzialmente o completamente inutilizzati.

È possibile trovare risorse temporali in diversi modi:

- cambiando la disposizione iniziale di un oggetto
- inserendo delle pause
- utilizzando operazioni simultanee
- eliminando movimentazioni ridondanti o inutili

Esempio: Dare ad un oggetto la possibilità di cambiare orientamento, in modo da permettergli di lavorare in due direzioni invece che in una sola

In agricoltura ogni solco viene arato nella stessa direzione in modo tale che la terra rivoltata si trovi sempre sullo stesso lato. Per iniziare un nuovo solco il trattore con l'aratro deve fare una corsa di ritorno a vuoto.

È possibile risparmiare tempo utilizzando un aratro con lame sia sinistrorse che destrorse. Una volta giunto alla fine di un solco, l'operatore può premere un pulsante per girare le lame e tracciare il solco successivo nel viaggio di ritorno. In questo modo la terra viene rivoltata sempre dallo stesso lato anche se il verso dell'aratro è opposto (Figura 18).

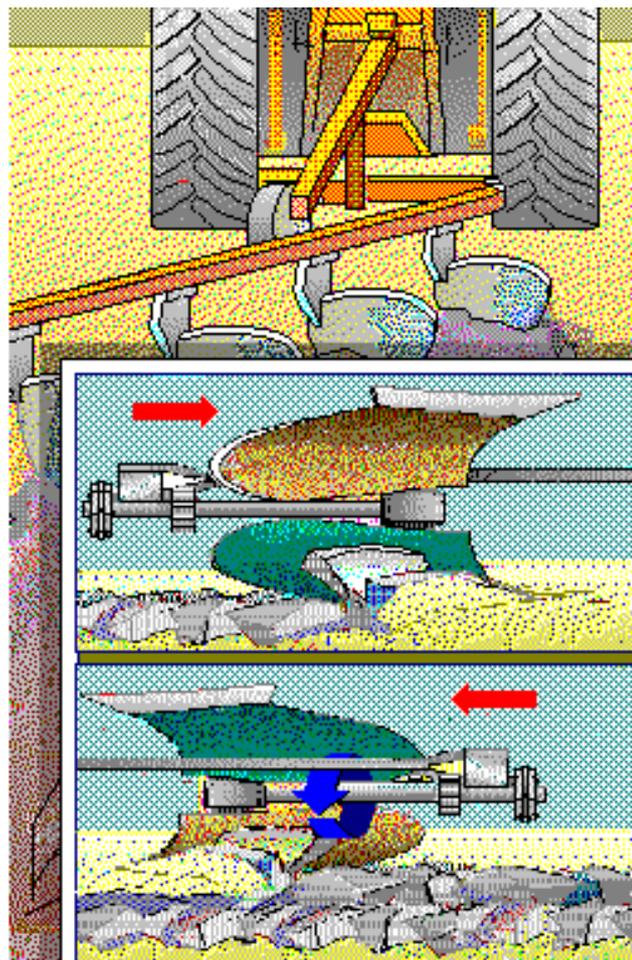


Figura 18. Un aratro con lame destrorse e sinistrorse permette all'agricoltore di arare in modo più rapido.

L'esempio dell'aratro è un esempio non solo dell'utilizzo di sostanze derivate, ma anche di una evoluzione di tipo ciclico, ovvero il continuo ri-uso di soluzioni conosciute applicate a sistemi più sofisticati.

Il primo aratro di metallo fu progettato per essere trainato dai cavalli, e la lama girava il suolo in una direzione. Il modello successivo era caratterizzato dalla possibilità di poter ruotare la lama in due direzioni, ma non riusciva a rigirare la terra altrettanto bene.

Con l'avvento dei trattori, si ritornò ad arare in una sola direzione; in seguito, per risparmiare tempo, si trovò una soluzione di compromesso, agganciando alla motrice due aratri, uno per rigirare la terra a sinistra e uno a destra. Questa soluzione aveva l'evidente svantaggio di aumentare notevolmente il peso del sistema. I trattori moderni sono dotati di potenti sistemi idraulici in grado di movimentare lame anche molto pesanti, cosa impossibile ai tempi degli aratri a trazione animale, laddove la forza agente sull'aratro era limitata al piede dell'agricoltore stesso.

I quattro passi per l'uso del concetto di sistema ideale (IFR)

Passo 1: Descrivete la situazione che vorreste migliorare

A causa del calore elevato presente in un fornace, le pareti vengono raffreddate con acqua. Il sistema di raffreddamento utilizza acqua pompata attraverso delle condutture. Se si genera una crepa nella condotta l'acqua fuoriesce e questo può causare un'esplosione nella fornace.

Passo 2: Descrivete la situazione ideale

L'acqua rimane nella condotta anche in presenza di una fessura.

Detto in modo ancora più forte: l'acqua non vuole uscire dalla condotta.

Passo 3: Riuscite ad immaginare un modo grazie al quale la situazione ideale potrebbe essere realizzata? In altre parole: c'è un modo conosciuto per farlo?

Esistono diverse possibilità e quindi risposte:

- ☞ “Sì”: Congratulazioni! Avete avuto una buona idea! Annotatevela da qualche parte per non perderla.
- ☞ “No”: Cercate di immaginare come utilizzare le risorse disponibili
- ☞ “Sì, ma” facendolo si generano degli effetti non desiderati: avete quindi una contraddizione e potete cercare di risolverla usando le tecniche imparate nel capitolo 4.
- ☞ Se emerge un ostacolo che impedisce il raggiungimento del sistema ideale, descrivetelo e identificate il perché è un ostacolo:

“La pressione all'interno della condotta è maggiore rispetto alla pressione all'esterno della condotta”

Passo 4: Sapete quali cambiamenti dovrebbero essere fatti per aggirare l'ostacolo?

La pressione all'interno della condotta dovrebbe essere inferiore alla pressione esterna... quindi dovrebbe essere utilizzata una pompa a vuoto!

Nel prossimo capitolo, l'analisi sostanza-campo è rivolta all'identificazione dell'impatto dei diversi campi energetici sui sistemi. Questo strumento fornisce una nuova prospettiva per la soluzione dei problemi.

“Non contrastare le forze, usale”.

R. Buckminster Fuller

6. La modellazione dei sistemi: l'analisi Sostanza-Campo

Il modello Sostanza-Campo (Su-Field)

(nella letteratura inglese questo tipo di modellazione viene chiamata anche *Substance-Field*, *S-Field*, etc. Nel corso della trattazione verrà utilizzata anche la dizione *Su-Field*. Per l'identificazione del campo verrà utilizzata l'abbreviazione dell'inglese *Field* "F". N.d.T.).

L'analisi sostanza-campo è uno strumento analitico di TRIZ utilizzato per modellare problemi relativi a sistemi tecnologici esistenti.

Ogni sistema è creato per realizzare delle funzioni. La funzione desiderata è l'output generato da un oggetto o sostanza (S2) su di un altro oggetto o sostanza (S1) attraverso un qualche tipo di mezzo "*Field*" (tipo di energia, F).

Il termine generico *sostanza* viene utilizzato nella letteratura classica di TRIZ in riferimento a qualunque oggetto. Si tratta di oggetti di qualsiasi livello di complessità; possono essere singoli elementi o sistemi complessi.

L'azione o il mezzo per portare a termine l'azione è denominato *campo*. L'analisi Sostanza-Campo è una tecnica semplice e veloce per poter utilizzare le diverse idee che possono emergere nell'uso della base di conoscenza; è molto efficace per la soluzione di problemi chiaramente formulati, come quelli che emergono dal processo di "formulazione del problema", illustrato nel Capitolo 3, o per problemi strutturati in forma di contraddizione.

Questo strumento analitico presuppone inoltre una maggior conoscenza tecnica sul funzionamento dei sistemi e sugli effetti fisici di quanto richiesto invece da altri strumenti della metodologia TRIZ.

Quando utilizzare l'analisi Sostanza-Campo

Due sostanze e un campo sono necessari e sufficienti per definire un sistema tecnico funzionante (Figura1).

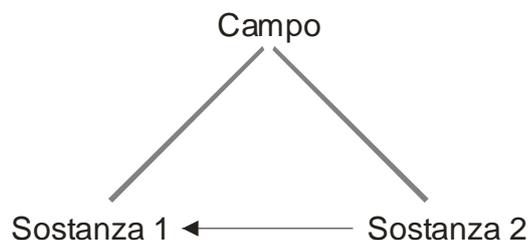


Figura 1. Il triangolo è il più piccolo elemento fondamentale

La strutturazione di questa triade risale al primo lavoro del matematico Ouspensky²⁸. Il triangolo è il più piccolo elemento fondamentale della trigonometria, così come per la tecnologia.

Ci sono quattro modelli fondamentali:

1. Sistema incompleto (richiede un completamento o un nuovo sistema)

2. Sistema completo efficace
3. Sistema completo inefficace (richiede un miglioramento per realizzare l'effetto desiderato).
4. Sistema completo dannoso (richiede l'eliminazione dell'effetto negativo).

Se uno dei tre elementi fondamentali (S1, S2, F) è assente, l'analisi Sostanza-Campo mostra dove il modello deve essere completato e fornisce delle indicazioni da seguire per generare idee innovative.

Se i tre elementi del modello sono presenti, l'analisi Sostanza-Campo è in grado di dare indicazioni per modificare il sistema al fine di ottenere migliori prestazioni, in particolar modo laddove sono permesse radicali modifiche del sistema.

Seguendo la logica per analogie di TRIZ, il sistema tecnico triangolare ha il proprio insieme di regole all'interno della "geometria del problem solving".

Queste poche regole di base, insieme alle 76 Soluzioni Standard, permettono una modellazione veloce delle semplici strutture per l'analisi Sostanza-Campo²⁹.

(Le 76 Soluzioni Standard rappresentano delle raccomandazioni da seguire, dei modelli astratti di soluzione da utilizzare a fronte dei diversi modelli di problema identificati con l'analisi Sostanza-Campo. N.d.T.)

La costruzione del modello

Il campo, che è spesso una forma di energia esso stesso, fornisce al sistema l'energia, la forza o la reazione che genera l'effetto. Tale effetto può generarsi su S1 o essere un output di informazioni del campo stesso.

Il termine "campo" è utilizzato nel suo significato più ampio; include ad esempio l'elettromagnetismo, la gravità, le interazioni atomiche forti e deboli, etc. Vengono inclusi nei campi le diverse forme di energie: termiche, chimiche, meccaniche, acustiche, la luce, etc.

Le due sostanze (S1 e S2) possono essere sistemi completi, sottosistemi o singoli elementi. Sono strumenti o oggetti.

Un modello completo è una triade di due sostanze e un campo.

Il problema inventivo viene rappresentato con un triangolo al fine di illustrare le relazioni tra le due sostanze e il campo. Esistono anche sistemi complessi che possono essere rappresentati con più "triangoli Su-Field" connessi tra loro.

Vi sono quattro passi da seguire per la costruzione di un modello Sostanza-Campo:

1. Identificare gli elementi

Il campo agisce su entrambe le sostanze o risulta integrato con la sostanza S2, come un sistema.

2. Costruire il modello

Dopo aver completato questi due passi, fermatevi e valutate la completezza e l'efficacia del sistema. Se qualche elemento manca, identificate di cosa si tratta.

3. Analizzate le proposte contenute fra le 76 Soluzioni Standard
4. Sviluppate un concept a supporto della soluzione

Durante l'esecuzione dei passi 3 e 4, vi dovrete servire anche di altri strumenti TRIZ "basati sulla conoscenza" (Knowledge-based tools). *(per una classificazione fra strumenti analitici e strumenti "knowledge-based", si veda il Capitolo 8 N.d.T.)*

In Figura 2 viene proposto un diagramma di flusso che mostra come il problem solver può applicare questo strumento TRIZ: è possibile notare come esista una costante alternanza fra strumenti "analitici" e "strumenti basati sulla conoscenza".

Il processo presenta dei cicli in corrispondenza dei passi 1 e 2 finché non si individua un modello completo. I modelli solutivi (soluzioni standard) che vengono analizzati nel passo 3 permettono un vero e proprio balzo in avanti del pensiero innovativo, permettendo di prendere in considerazione modelli alternativi per il sistema. Attraverso l'uso degli strumenti "basati sulla conoscenza" è infatti possibile, per ogni modello, prendere in considerazione modelli alternativi a quello di base *(diversi triangoli "Su-field" e quindi differenti soluzioni N.d.T.)*.

L'analisi Su-Field è stata ideata e migliorata ciclicamente nel periodo 1974-1977; ad ogni ciclo è aumentato il numero di raccomandazioni disponibili. Ad oggi esiste una lista strutturata di 76 Soluzioni Standard, che rappresentano un distillato delle soluzioni originali. In questo volume vengono presentati solo quattro modelli.

(è possibile trovare facilmente in internet l'elenco completo delle 76 Soluzioni Standard ricercando le parole chiave TRIZ 76 standard" N.d.T.)

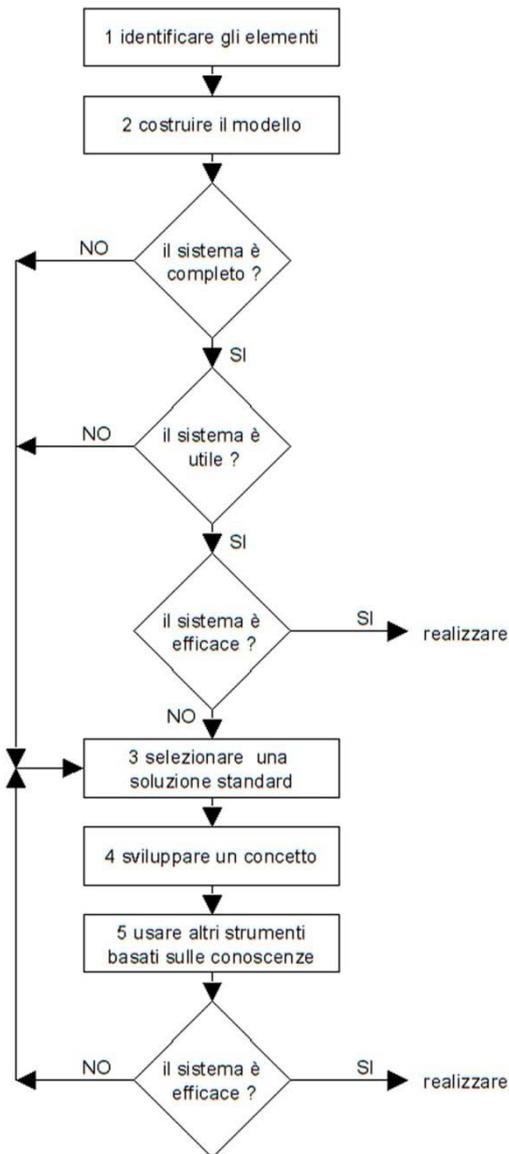


Figura 2. Un flow-chart per il problem solving TRIZ

Per introdurre ai concetti fondamentali dell'analisi Sostanza-Campo viene spesso utilizzato l'esempio della rottura di rocce con un martello. Una variante di questo esempio verrà utilizzata in questo testo per presentare alcuni degli standards.

La grammatica dell'analisi Sostanza-Campo

L'identificazione delle sostanze (S1 e S2) dipende dalla specifica situazione che si sta analizzando; potrebbero essere un materiale, uno strumento, una parte di un oggetto, una persona o l'ambiente.

S1 rappresenta la sostanza che riceve l'azione del sistema, mentre S2 è lo strumento attraverso il quale viene applicata una qualche forma di energia.

La risorsa energetica, o campo (F), agente sulle sostanze è generalmente del tipo:

- Me – meccanico
- Th – termico
- Ch – chimico
- E – elettrico
- M – magnetico
- G – gravitazionale

I simboli associati ai diversi campi applicati vengono utilizzati nella modellazione Su-Field dei diversi sistemi.

Le relazioni tra gli elementi nel modello Su-Field sono rappresentate utilizzando cinque diversi tipi di connettori:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Applicazione, uso |  |
| 2. Effetto desiderato |  |
| 3. Effetto desiderato insufficiente |  |
| 4. Effetto dannoso |  |
| 5. Trasformazione del modello |  |

L'analisi Sostanza-Campo (Su-Field)

Vediamo ora l'applicazione dei quattro passi per la modellazione Su-Field, utilizzando l'esempio della roccia e del martello.

1. Identificare gli elementi

L'obiettivo da realizzare è rompere la roccia.

Funzione = rompere la roccia

S1 = Roccia

È possibile vedere come dal sistema manchi lo strumento (S2) e la risorsa energetica (F).

S2 = strumento

Energia = F

2. Costruire il modello

Sistema incompleto – La roccia è rappresentata da S1.

Se nel sistema è presente la sola roccia, questa non si romperà e quindi il modello risulta incompleto (Modello a, Figura 3).

Il modello è comunque incompleto se comprende solo la roccia ed il martello (S2) (Modello b, Figura 3), o se include la roccia (S1) e un qualche tipo di campo F, ad esempio la gravità (Modello c, Figura 3).

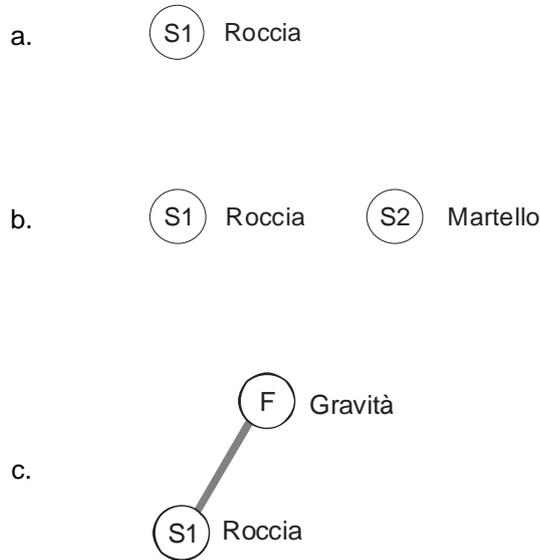


Figura 3. Esempi di modelli incompleti

Nei modelli incompleti, l'effetto desiderato non si realizza; per poterlo realizzare è necessario per lo meno completare il modello.

Un sistema completo, la cui prestazione per ora non prendiamo in considerazione, è ad esempio un martello pneumatico che applica una forza meccanica alla roccia attraverso il martello.

Il modello precedentemente incompleto (modello b) è quindi completato dall'applicazione di un campo meccanico (F_{Me}) attraverso il martello (S2) alla roccia (S1), come mostrato in Figura 4.

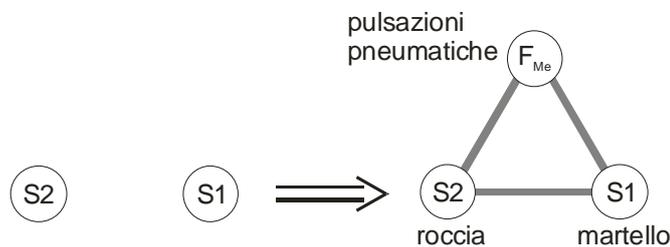


Figura 4. Un modello che include tutti gli elementi per raggiungere il proprio fine

Una volta identificato un sistema completo, è possibile analizzarne la performance, giungendo a 3 tipi di sistemi:

 un sistema completo efficace

☞ un sistema completo che genera un'azione nociva

☞ un sistema completo inefficace

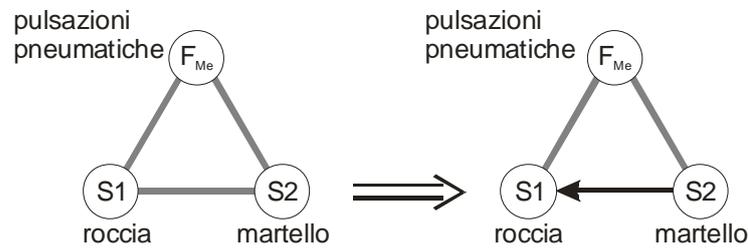


Figura 5. Un esempio di sistema completo che raggiunge l'obiettivo prefissato

Sistema completo efficace – Se il sistema fornisce l'effetto desiderato l'analisi è completa (Figura 5).

Esistono sostanzialmente due modi attraverso cui il sistema potrebbe non fornire il risultato desiderato:

☞ si verifica un effetto nocivo

☞ I risultati sono inadeguati rispetto a quanto desiderato

3. Individuare le soluzioni tra le 76 Soluzioni Standard

Sistema completo che genera un'azione nociva – molte delle 76 Soluzioni Standard possono essere utilizzate per risolvere un problema legato ad un effetto nocivo (Figura 6).

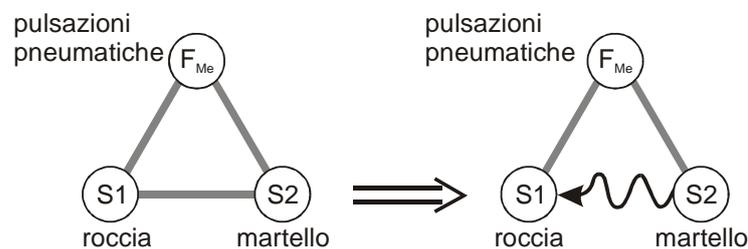


Figura 6. La rappresentazione di un effetto nocivo

Due possibili applicazioni delle soluzioni standard sono: introdurre un'altra sostanza S3 (Figura 7) o introdurre un altro campo F (Figura 8).

Prendendo in considerazione ed analizzando le diverse possibili sostanze S3 o i diversi campi possibili è possibile generare molti conceptsolutivi.

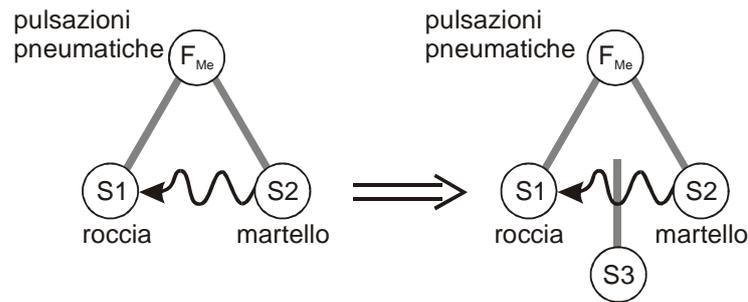


Figura 7. L'introduzione di un'altra sostanza

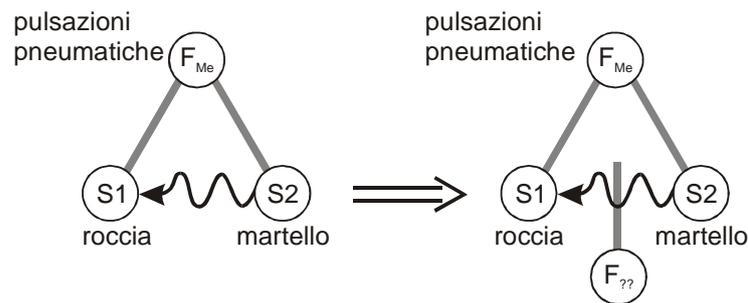


Figura 8. L'introduzione di un altro campo

Sistema completo inefficace – Le Soluzioni Standard possono essere anche applicate per migliorare la performance di un sistema funzionante ma che presenta un'efficacia insoddisfacente (Figura 9).

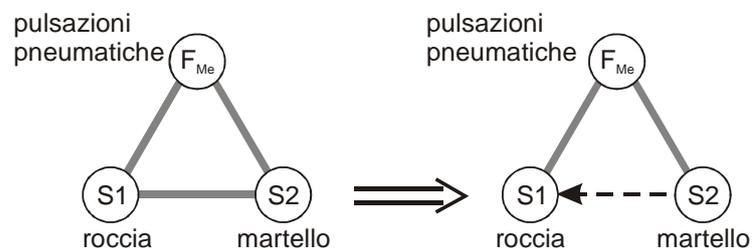


Figura 9. La modellazione di un sistema completo inefficace, un esempio

Si dovrebbe innanzitutto prendere in considerazione quante più alternative possibili riguardanti il campo o le sostanze utilizzate.

Attraverso l'introduzione o il cambiamento degli elementi del modello, la performance del sistema può essere migliorata in diversi modi, ad esempio:

Cambiando la sostanza S2 con un'altra S3 (Figura 10)

Cambiando sia la sostanza che il campo utilizzato, usando quindi un diverso campo meccanico ed un diverso martello (Figura 11)

Aggiungendo un campo $F_?$ al sistema, applicandolo all'iterazione martello-roccia. Un campo di tipo chimico in grado di rendere più friabile la roccia potrebbe funzionare (Figura 12).

Aggiungendo una sostanza esterna S3 o un campo ed una sostanza insieme (Figura 13)

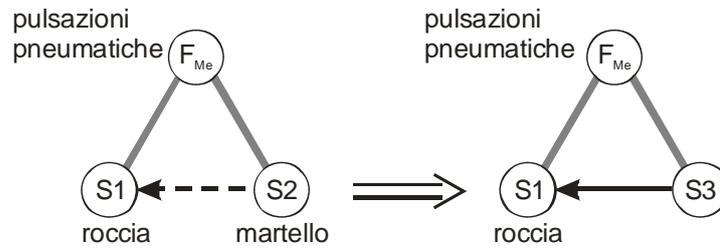


Figura 10. Migliorare la performance aggiungendo o cambiando elementi del modello

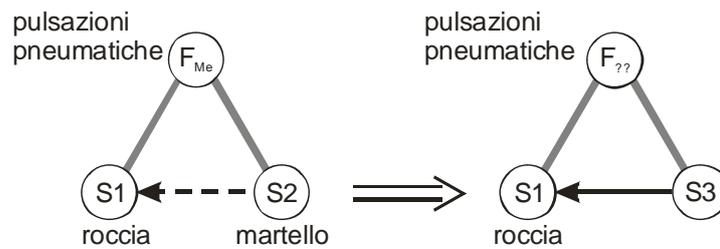


Figura 11. Migliorare la performance cambiando il campo e la sostanza

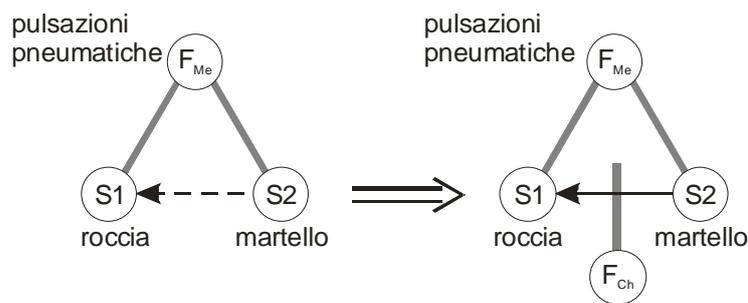


Figura 12. Migliorare la performance usando un campo addizionale

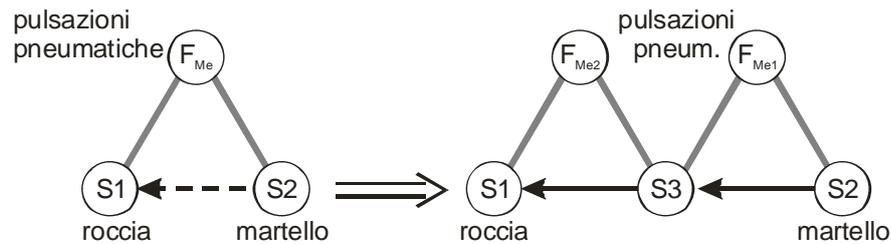


Figura 13. Migliorare la performance aggiungendo una sostanza o un altro campo e una sostanza

Ognuno degli standard può generare diverse possibili idee solutive. Le 76 Soluzioni Standard forniscono unicamente dei suggerimenti per dei cambiamenti della struttura del modello. Il problem solver deve tradurre queste proposte di modelli solutivi in concepts concreti.

(Il modello Su-Field, come tutti i modelli, è una rappresentazione della realtà. Le 76 Soluzioni Standard non sono delle soluzioni di per sé, ma rappresentano dei modelli solutivi astratti applicabili ai modelli di problema identificati nella fase di analisi. N.d.T.)

4. Sviluppare un concept per concretizzare la soluzione

I cambiamenti della struttura del Su-Field identificati al punto 3 con l'ausilio delle 76 Soluzioni Standard rappresentano delle direttrici per la ricerca di soluzioni al problema modellato. Alcune di queste direttrici possono rivelarsi non fruttuose, ma è importante ricordare che l'utilità della modellazione è quella di aiutare a produrre dei concept generali. La successiva sfida è quella di definire i dettagli del concept generale, per trasformarlo in una soluzione concreta.

TRIZ fornisce altri strumenti che possono supportare il problem solver in questa fase.

Proviamo ad immaginare di dover rendere concreti alcuni dei concepts generali identificati per il problema della rottura delle rocce.

Sistema completo che genera un'azione nociva – Se l'effetto nocivo modellato è ad esempio il fatto che vengono proiettati dei frammenti di roccia, il modello di soluzione della Figura 7 che prevede l'inserimento di una sostanza S3 per l'eliminazione di un effetto dannoso, può essere declinata in: una cuffia o una rete metallica ricopre la roccia.

Se il modello solutivo prevede l'inserimento di un campo nel sistema (Figura 8), provate ad immaginare tutti i diversi tipi di campo disponibili. Se la roccia contiene umidità, il congelamento della stessa (F_{Th}) potrebbe produrre delle fratture grazie all'espansione dell'acqua contenuta. La rottura della roccia avverrebbe in modo più graduale, riducendo la violenza esplosiva della proiezione di frammenti.

Questo tipo di risultato potrebbe essere considerato un "super-effetto", in quanto riduce lo sforzo meccanico necessario per realizzare la funzione desiderata (*rompere la roccia N.d.T.*).

Sistema completo inefficace – La rottura della roccia potrebbe non essere efficace o non tanto efficace quanto desiderato (Figura 9).

Un modo per cambiare la sostanza S2 con S3, così come proposto nel modello solutivo di Figura 10, è quello di sostituire la testa del martello (S2) con una testa fatta di roccia (S3).

Un modo invece di cambiare il campo e la sostanza, così come proposto nel modello di Figura 11, potrebbe essere quello di utilizzare un'energia termica prodotto dalla combustione di gas (F_{Th}) in congiunzione con dell'acqua per generare vapore. Il rapido cambiamento della temperatura potrebbe rompere la roccia.

Nel modello di Figura 12, il campo che viene aggiunto al sistema potrebbe essere un campo chimico (F_{Ch}) per rendere la roccia (S1) più fragile.

La Figura 13 propone invece di aggiungere una sostanza ed un campo; uno scalpello (S3) potrebbe essere inserito fra il martello e la roccia. Ci sarebbero ora 2 sistemi con 3 elementi. La pressione pneumatica (F_{Me1}) agisce sul martello (S2) che trasferisce energia allo scalpello (S3), che trasferisce l'energia (F_{Me2}) alla roccia (S1).

Il vecchio metodo utilizzato nel New England per spezzare le rocce prevedeva la realizzazione di fori nella pietra ed il loro riempimento con acqua durante il periodo invernale. Questo modello di sistema avrebbe anch'esso due triadi: un campo termico applicato dall'ambiente sull'acqua, che la congela, un campo meccanico applicato alla roccia dall'acqua che congela, causandone la rottura.

Un caso di studio

Nei processi elettrolitici per la produzione di rame puro, una piccola quantità di elettrolito rimane nei pori superficiali che, durante l'immagazzinamento, evapora e crea delle macchie di ossido. Questo fatto è fonte di scarti, a causa dei difetti estetici sulla superficie delle lastre. Per cercare di contenere le perdite, le lastre vengono lavate prima di essere stoccate in magazzino, ma il processo non riesce a rimuovere totalmente l'elettrolito a causa delle piccole dimensioni dei pori. Come può essere migliorato il processo di lavaggio?

1. Identificare gli elementi

Elettrolito = S1

Water = S2

Processo di lavaggio meccanico = F_{Me}

2. Costruire il modello

In questo caso si ha un effetto desiderato insufficiente (Figura 14).

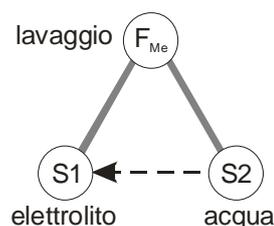


Figura 14. Un effetto desiderato insufficiente

3. Individuare le soluzioni tra le 76 Soluzioni Standard

Una delle soluzioni standard suggerisce di aggiungere un campo $F_{??}$ per intensificare l'effetto di lavaggio (Figura 15).

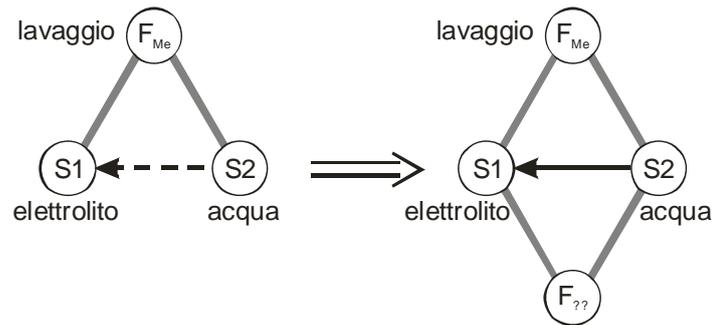


Figura 15. Aggiungere un campo per intensificare la funzione è una delle 76 Soluzioni Standard

4. Sviluppare un concept per concretizzare la soluzione

Esistono diverse possibilità per campi in grado di intensificare l'effetto del lavaggio:

- un campo meccanico generato usando ultrasuoni
- un campo termico generato da acqua calda
- un campo chimico che utilizza tensioattivi per dissolvere l'elettrolito
- un campo magnetico per magnetizzare l'acqua e migliorare il lavaggio

Ripetete il processo tornando al passo 3, prendendo in considerazione altre soluzioni standard e per ognuna di esse sviluppate concept che concretizzino l'idea (passo 4). Analizzate tutte le possibilità. Chiedetevi sempre: "cosa...?".

3. Individuare soluzioni alternative tra le 76 Soluzioni Standard

Inserire una sostanza S3 ed un altro campo F_2 (Figura 16).

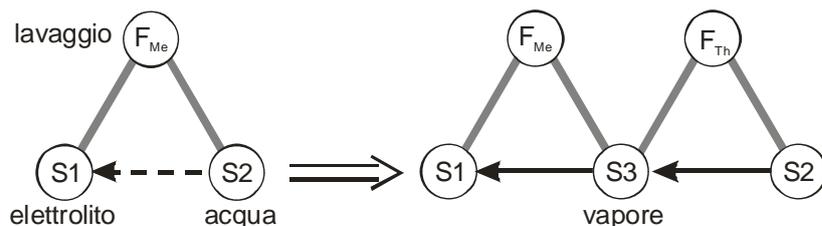


Figura 16. Un diverso modello solutivo per lo stesso modello di problema (un'altra delle 76 Soluzioni Standard)

4. Sviluppare un concept per concretizzare la soluzione

F_{Th} è la pressione e S3 è il vapore (Figura 16). Utilizzare vapore surriscaldato (acqua sotto pressione a temperature maggiori di 100°). Il vapore viene forzato nei pori, provocando l'uscita dell'elettrolito.

La suddivisione di un problema complesso in sottoproblemi più piccoli è un processo comune: l'analisi Su-Field può essere utilizzata sia a livello macro come pure a livello micro.

Ogni diversa opzione di campo (*o di sostanza, o di sostanza derivata, etc. N.d.T.*) rappresenta un modo alternativo di superare l'ostacolo dovuto all'inerzia psicologica che blocca la generazione di idee innovative.

(l'utilizzo di modelli generali del problema permette di ottenere modelli generali di soluzione svincolandosi dai limiti inconsciamente auto-imposti dall'inerzia psicologica. N.d.T.)

L'analisi Sostanza-Campo rappresenta l'innovazione strutturata a supporto dell'identificazione di idee innovative. La definizione di concept in grado di dare concretezza al modello di soluzione generato è il compito precipuo degli strumenti "basati sulla conoscenza", o "knowledge-based".

Il capitolo che presenta gli strumenti "basati sulla conoscenza" servirà proprio a supporto di questa attività.

L'identificazione della generazione successiva di sistemi tecnologici offre un tipo di sfida innovativa differente e offre un modo diverso per innovare. Nel prossimo capitolo, che tratta dei percorsi evolutivi standard dei sistemi, verranno proposte delle indicazioni per meglio affrontare questa sfida.

"Non che una storia debba necessariamente essere lunga,

ma è lungo cercare di renderla breve"

Henry David Thoreau

7. I trend evolutivi

Il titolo originale del capitolo è "Patterns of Evolution" che andrebbe tradotto con "i modelli dell'evoluzione". Nella metodologia TRIZ lo studio dell'evoluzione dei sistemi tecnologici è un aspetto molto dibattuto. Si parla di leggi evolutive, di trend evolutivi, di modelli di evoluzione, etc.

La dizione più diffusa è probabilmente "laws of evolution", ovvero leggi evolutive. Anche se utilizzata dal padre della metodologia (G. Altshuller), questa dizione non è tra le mie preferite, cosa che mi ha portato ad alcuni dibattiti metodologici con vari altri esperti TRIZ. Nella traduzione ho quindi preferito utilizzare il termine trend per identificare un percorso "preferenziale" che i sistemi seguono nella loro evoluzione tecnologica. N.d.T.

Quando usare i trend evolutivi

Se il vostro obiettivo è quello di generare un vantaggio competitivo attraverso un'innovazione radicale rispetto ai prodotti esistenti, allora lo strumento più efficace da utilizzare sono i trend di evoluzione tecnologica.

I trend hanno un livello di astrazione tale da permettere un loro efficace utilizzo anche in ambito non tecnico. In questo capitolo esamineremo otto trend evolutivi molto generali, ognuno dei quali contiene proprie linee di evoluzione più specifiche.

Risolvere un problema è un comportamento reattivo, mirato a sanare un sistema "in crisi". Guardare al futuro attraverso lo strumento dei trend evolutivi è invece un comportamento pro-attivo finalizzato a creare il futuro stesso.

I trend evolutivi

Un'esposizione in un museo che mostra le diverse generazioni di soluzioni applicate ad un singolo prodotto offre un'idea generale dell'esistenza di modelli evolutivi comuni a prodotti diversi. Tali modelli comuni di evoluzione di prodotto/tecnologica aprono una finestra sul possibile futuro di altri prodotti. Posizionando l'attuale prodotto all'interno di un trend evolutivo è possibile predirne l'evoluzione lungo quello stesso trend; ne deriva che conoscere e capire i prossimi otto trend evolutivi vi permetterà di progettare oggi il prodotto di domani.

Gli otto trend che verranno trattati in questo libro sono elencati nella tabella 1.

Tabella 1. I trend evolutivi

1.	Evoluzione per fasi
2.	Evoluzione tendente all'aumento di idealità
3.	Sviluppo non uniforme degli elementi di un sistema
4.	Evoluzione tendente all'aumento della dinamicità e della controllabilità del sistema
5.	Aumento della complessità seguito da semplificazione
6.	Evoluzione attraverso il coordinamento e il de-coordinamento di elementi
7.	Evoluzione verso il micro e l'incremento dell'uso di campi
8.	Evoluzione verso la riduzione del coinvolgimento dell'uomo

Il migliore approccio all'uso dei trends consiste nel tracciare una mappa evolutiva dell'attuale sistema rispetto ai diversi percorsi evolutivi; a questo punto è possibile cercare di andare oltre "l'oggi" e definire la probabile evoluzione del sistema lungo ogni trend evolutivo (il "domani").

Un supporto a questo processo di "*forecasting*" può essere fornito non solo dai singoli trend, ma da combinazioni degli stessi. Questo tipo di analisi può essere facilitato utilizzando una matrice nelle cui righe e colonne sono inseriti i diversi trends. Ogni intersezione della matrice rappresenta un nuovo modello evolutivo che può essere analizzato.

Un'analisi per "*clusters*" di dati inseriti nelle diverse intersezioni (*combinazioni di trends N.d.T.*) aiuterà ad identificare le tematiche più ricorrenti nel futuro sistema. I cluster più rilevanti saranno un'indicazione per lo sviluppo futuro del sistema.

1. Evoluzione per fasi

Il primo trend evolutivo è quello più generale e descrive l'evoluzione ad un livello macro. Si tratta della conosciuta "*curva ad S*" che raffigura le prestazioni del sistema in funzione del tempo, come rappresentato dalla curva più in alto della Figura 1.

La curva ad S rappresenta il classico ciclo di vita costituito dalle fasi di gestazione, nascita, infanzia, adolescenza, maturità e declino.

La gestazione è l'intervallo temporale che intercorre tra il concepimento dell'idea e il momento in cui l'idea è maturata abbastanza (oppure l'ambiente è pronto) per l'annuncio pubblico della sua nascita.

La nascita è il momento in cui un sistema viene chiaramente definito e può svolgere alcune funzioni. Senza uno sforzo di sviluppo però un sistema non potrà crescere ed evolversi sino a divenire un prodotto maturo. Molte organizzazioni utilizzano "*l'ingegnerizzazione simultanea*" (conosciuta anche con il termine inglese di *Simultaneous engineering* o *Concurrent Engineering N.d.T.*) per la riduzione del tempo di sviluppo del prodotto. Il maggior ritardo è spesso infatti dovuto al tempo che intercorre fra la nascita dell'idea ed il momento in cui l'idea diventa un progetto. Le organizzazioni votate alla ricerca possono avere idee che aspettano per 15 o 20 anni (fase di gestazione) prima di trasformarsi in un progetto, ovvero prima che lo sviluppo dell'idea cominci davvero. Le logiche legate al concetto di "*curva ad S*" possono essere applicate dal momento in cui iniziano i primi sforzi concreti di sviluppo del sistema.

Le altre tre curve di figura 1 descrivono le fasi evolutive rispetto al tempo secondo differenti punti di vista e sono state tracciate in modo tale da poter rapportare le varie fasi dell'evoluzione temporale.

Sull'asse Y presentano rispettivamente:

- a. la prestazione
- b. il livello di innovazione
- c. il numero di invenzioni (associate al sistema in analisi)
- d. la redditività

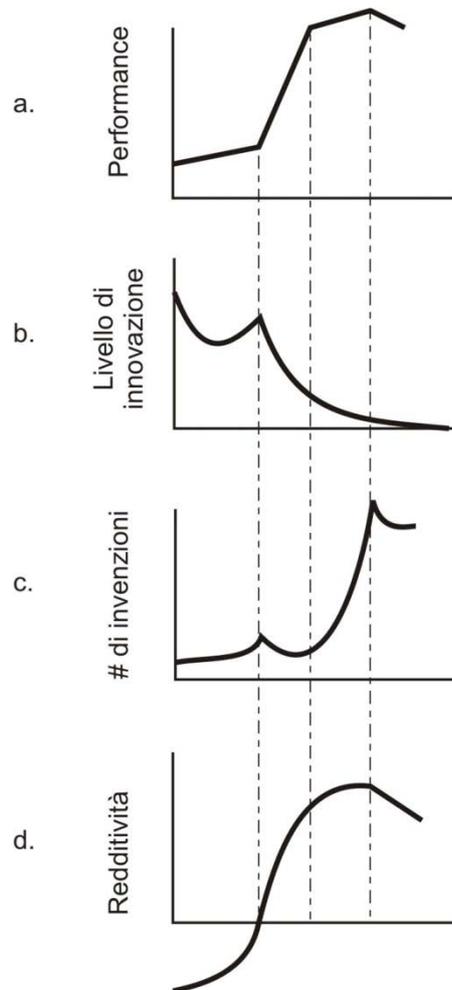


Figura 1. la nota curva ad S che descrive la performance di un sistema in funzione del tempo

L'idea iniziale è spesso molto inventiva (di livello 3, 4 o anche 5) e anche brevettabile (Figura 1b). Il difficile lavoro successivo di solito produce solamente dei miglioramenti rispetto all'idea iniziale. Prima che il prodotto sia pronto per il pubblico è di solito necessario un ulteriore picco di inventività, seguito poi da dei miglioramenti.

(Il prodotto funziona ragionevolmente ma ha ancora dei problemi rilevanti che lo rendono poco più di un prototipo, come ad esempio una bassa controllabilità del sistema, un eccessivo consumo, una fragilità inaccettabile del sistema o dei suoi componenti, una complessità inaccettabile, etc. la soluzione a questi problemi richiede spesso alcune innovazioni molto importanti che rendono il prodotto ragionevolmente pronto ad affrontare l'ambiente fuori dal laboratorio o fuori da una nicchia ristretta di utenti particolarmente specializzati N.d.T.)

Mentre si lavora verso questo picco di innovazione, aumenta il numero di invenzioni per unità di tempo, fino a quando il sistema compie il salto decisivo (Figura 1c).

A questo punto l'organizzazione "prende un po' di fiato" prima di iniziare la ricerca di miglioramenti significativi. Durante la maturità del sistema si rendono poi necessari molti miglioramenti di progetto, anche se generano spesso solo incrementi marginali di performance.

Per quanto riguarda la redditività (Figura 1d), essa è ovviamente negativa durante la fase iniziale e raggiunge il valore massimo durante la maturità.

Il profitto si genera quando sono state prodotte un certo numero di unità.

Dall'analisi di queste curve appare evidente che, per mantenere stabili i profitti, un nuovo sistema deve essere concepito durante la fase di rapida crescita del sistema attuale. Le organizzazioni spesso si accorgono di non avere un nuovo prodotto o sistema che si sta avvicinando alla fase di rapida crescita solo quando il sistema attuale è nella sua fase matura. Per questo motivo i profitti potrebbero avere una flessione, dovuta alla mancata o incorretta programmazione temporale della ricerca innovativa all'interno della curva ad S.

Analizzate la curva ad S in Figura 2; in essa è riportata sull'asse orizzontale la variabile "tempo", mentre la variabile "velocità" rappresenta la performance misurata dall'asse verticale. In tale figura sono poi state riportati i dati relativi allo sviluppo temporale del sistema "aeroplano", in modo da poter essere utilizzati come guida nella descrizione delle sei fasi dello sviluppo di un sistema.

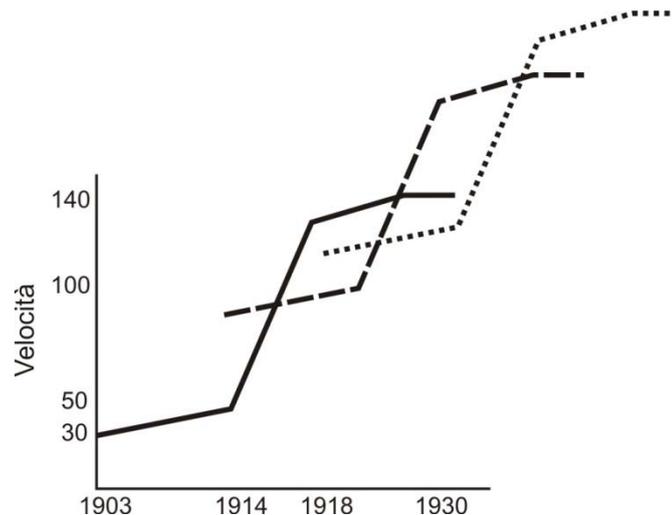


Figura 2. Queste curve ad S verranno usate per descrivere le 6 fasi dell'evoluzione dell'aeroplano

Gestazione

Una nuova idea rimane nello stato di "gestazione" finché non raggiunge un ragionevole livello di realizzabilità. Provate ad esempio ad immaginare alle diverse idee sorte nel corso dei secoli che avevano come obiettivo il volo di oggetti più pesanti dell'aria.

Nascita

Un nuovo sistema tecnologico emerge quando si verificano due condizioni:

1. Esiste la necessità di una funzione
2. Esistono i mezzi (tecnologici) per soddisfare questo fabbisogno

La necessità di controllare l'ambiente attraverso sistemi meccanici che imitano i sistemi naturali ha rappresentato a lungo un fattore guida influenzante per l'uomo, come evidenziato dal desiderio dell'uomo di volare. D'altro canto, le conoscenze e tecnologie riguardanti l'aerodinamica e la meccanica non sono state sufficienti per permettere all'uomo di volare, almeno fino alla fine del 1800.

Le tecnologie necessarie per la realizzazione di un aeroplano sono state disponibili a partire dallo sviluppo del volo a vela agli albori del 1800, con le invenzioni di Sir George Cayley e successivamente di Otto

Lilienthal, e dallo sviluppo del motore a combustione interna, le cui prime realizzazioni risalgono a Etienne Lenoir, nel 1859.

Sir George Cayley (1773-1857), ingegnere inglese pioniere dell'aeronautica.

Otto Lilienthal (1848-1896), tedesco, conosciuto come "il re degli alianti. Nel 1891 realizzò il primo aliante, il Derwitzer, in grado di trasportare una persona.

Jean Joseph Etienne Lenoir (1822-1900), Belga. Sviluppò un motore mono-cilindrico a due tempi che bruciava una miscela di gas di carbone e aria.

N.d.T. (fonte: Wikipedia)

A causa delle problematiche legate alla tecnologia del volo a vela (non in grado di garantire la sicurezza in caso di assenza di vento) i fratelli Wright pensarono nel 1903 ad una soluzione che prevedeva di mettere a bordo una fonte di energia indipendente... una nuova tecnologia stava prendendo il volo.

Un fabbisogno può essere sia reale/attuale che anticipatore del futuro.

Lo sforzo inventivo iniziale richiede risorse senza nessuna garanzia riguardo ad un ritorno sugli investimenti ed è guidato dalla fiducia nel fatto di poter trovare una soluzione che sarà richiesta dai clienti. Il risultato di questo sforzo è una tecnologia emergente o un'applicazione di un'innovazione.

Infanzia

Il nuovo sistema è il risultato di un'invenzione di livello elevato; tipicamente risulta essere primitivo, inefficiente, inaffidabile e presenta parecchi problemi irrisolti. Di contro fornisce qualche nuova funzione o quantomeno i mezzi per realizzare una funzione.

In questa fase lo sviluppo del sistema è molto lento, a causa della mancanza di risorse umane e finanziarie. È necessario trovare risposte a molte domande e problematiche; molte persone, ad esempio, potrebbero non ancora essere convinte dell'utilità del sistema. Tuttavia un piccolo numero di appassionati che credono nel futuro del sistema continuano a lavorare per il suo successo.

Il primo volo dei fratelli Wright raggiunse una velocità di 30 miglia orarie (48 km/h circa). Il sistema "aeroplano" si sviluppò lentamente nelle successive fasi di sviluppo. Le risorse umane e finanziarie erano limitate in quanto gli aerei erano considerati una curiosità non realistica. Fino al 1913 la velocità degli aerei era aumentata solo fino a raggiungere i 50 miglia orarie (80 km/h circa).

Adolescenza (rapido sviluppo che porta all'indipendenza del sistema)

Questa fase inizia quando la società riconosce il valore del nuovo sistema. Prima di arrivare a questo, è stato necessario superare molti problemi, l'efficienza e le prestazioni sono migliorate e si crea un nuovo mercato. A causa del crescente interesse verso il sistema, le persone e le organizzazioni investono denaro nello sviluppo del nuovo prodotto o processo. Questo determina uno sviluppo accelerato del sistema, un miglioramento dei risultati e quindi una ancora maggiore attrazione di investimenti. Si crea quindi un circolo virtuoso che promuove un'accelerazione dell'evoluzione del sistema.

Nel 1914 si manifestarono due stimoli per una rapida crescita dell'aeroplano: il primo fu l'inizio della Prima Guerra Mondiale e il riconoscimento da parte delle forze militari della potenziale utilità degli aerei; il secondo fu l'aumento delle risorse umane e finanziarie a mano a mano che gli aerei divenivano più affidabili. Gli aerei non rappresentavano più dei "costosi giocattoli".

Grazie alle maggiori risorse finanziarie ed umane, la velocità degli aerei raddoppiò durante il quadriennio che va dal 1914 al 1918 (da 50 a 100 miglia orarie, ovvero da 80 a 160 km/h circa).

Maturità

Lo sviluppo del sistema rallenta poiché la prestazione del sistema, così come inizialmente concepito, raggiunge i suoi limiti naturali. Ogni investimento in tempo o denaro ha comunque un effetto sempre minore sulle prestazioni del sistema. Le idee, le forme e i materiali diventano degli standard stabili. Si verificano alcuni piccoli miglioramenti attraverso azioni di ottimizzazione del sistema e compromessi.

È possibile osservare questa tendenza nella curva di sviluppo della velocità degli aeroplani, che sostanzialmente si livella nella fase matura del sistema.

Declino

Sono stati raggiunti i limiti della tecnologia e non sono possibili miglioramenti significativi. Potrebbe anche non esserci più bisogno del sistema, in quanto la funzione fornita non è più necessaria (pensate al frustino dei calessi). Il solo modo per interrompere il declino è la generazione di un nuovo concept e, possibilmente, di una nuova tecnologia.

Nel 1918 le potenzialità dell'aereo dei fratelli Wright (un biplano fatto con cavi, tela, basse caratteristiche aerodinamiche, etc.) erano praticamente esaurite. Come risultato, nei successivi 12 o 14 anni, la velocità degli aerei aumentò solo fino a 140 miglia orarie (225 km/h).

La generazione successiva (che rappresenta una rinascita e una nuova curva ad S) iniziò con monopiani aerodinamici e con struttura metallica. Anche questo sistema aveva dei limiti di prestazione intrinseci. L'aereo a reazione iniziò una terza curva ad S.

Nuove idee e quindi nuove curve ad S sono essenziali per la sopravvivenza nell'economia mondiale.

2. Evoluzione tendente all'aumento di idealità

Ogni sistema realizza funzioni che generano effetti positivi e negativi. La direzione evolutiva che porta verso l'aumento del grado di idealità dei sistemi si realizza migliorando il rapporto fra effetti positivi ed effetti negativi.

$$Idealità = \frac{Effetti\ utili}{Effetti\ dannosi}$$

Quando creiamo e scegliamo soluzioni inventive ad un problema, l'obiettivo è quello di aumentare il livello di idealità.

Nel Capitolo 5 è stato analizzato in dettaglio il processo di approccio all'idealità.

Il sistema ideale fornisce le funzioni richieste "senza esistere" realmente. Un sistema semplice che utilizza risorse normalmente disponibili è un sistema elegante.

L'equazione dell'Idealità suggerisce di individuare gli effetti utili e dannosi in ogni sistema. L'effettivo calcolo del coefficiente di idealità ha dei limiti oggettivi. È difficile ad esempio quantificare il costo dell'inquinamento ambientale o la perdita di una vita umana. Analogamente la variazione del coefficiente

dovuta ad un aumento di versatilità del sistema a discapito della semplicità di utilizzo non è facile da misurare.

Il metodo conosciuto come Analytic Hierarchy Process (AHP) può essere un valido aiuto nella classificazione in ordine di importanza degli effetti che si vogliono migliorare. I metodi come l'AHP rendono le analisi più ponderate e precise.

(Analytic Hierarchy Process (AHP) è un tecnica a supporto delle decisioni, sviluppata negli anni 70 da Saaty. L'utilizzo di questa tecnica permette di prendere in considerazione sia aspetti quantitativi che qualitativi di una decisione, ricorrendo a comparazioni "uno a uno" delle diverse alternative secondo i singoli diversi parametri di valutazione. N.d.T.)

3. Sviluppo non uniforme degli elementi di un sistema

Ogni componente o sottosistema ha una sua curva evolutiva e ognuno di essi tendenzialmente evolve secondo scale temporali diverse. Se ne deduce che i diversi componenti di un sistema raggiungono il proprio caratteristico limite di sviluppo in momenti diversi. Il componente che per primo raggiunge il proprio limite evolutivo frena lo sviluppo dell'intero sistema e può divenire l'anello debole del sistema stesso.

Allo stesso modo un componente in ritardo nel proprio sviluppo è un punto debole; la performance del sistema complessivo è limitata fintantoché non viene sviluppato il componente "limitante".

Nell'evoluzione dell'aereo, l'inerzia psicologica ha portato a concentrare tutti gli sforzi sullo sviluppo del motore, ma esistevano altri componenti dell'aeroplano che erano più limitanti.

Una delle chiavi fondamentali per capire un sistema è comprendere l'interazione fra tutti i componenti che ne influenzano la performance.

Intuire che potrebbero esserci elementi non presi in considerazione che limitano la performance del sistema è un'ottima ragione per utilizzare il "Processo di formulazione del problema", in modo da generare chiare formulazioni dei problemi che prendano in considerazione i diversi componenti.

Il caso di seguito presentato sottolinea l'importanza di focalizzare il miglioramento sugli anelli più deboli presenti all'interno del sistema.

Un fabbricante di paraurti in plastica per automobili produceva scarti due volte superiori rispetto a quelli attesi. Tutti gli sforzi di risoluzione del problema erano focalizzati al miglioramento del processo produttivo. Nessuna modifica della composizione della materia prima era mai stata presa seriamente in considerazione, dal momento che di tale formulazione si era occupato a suo tempo il presidente della compagnia.

Una volta, però, spinti dalla disperazione, l'azienda acquistò un compound con una formulazione "commerciale". Il processo produttivo divenne improvvisamente stabile e la produzione di scarti diminuì ad un decimo del livello obiettivo.

Lavorare sul vero problema è la chiave del successo!

4. Evoluzione tendente all'aumento della dinamicità e della controllabilità del sistema

Un sistema dinamico nella sua più semplice configurazione iniziale presenta in genere una grande carenza di opzioni. Nella prima bicicletta che utilizzava una catena per la trasmissione del moto, la catena andava dall'ingranaggio dei pedali all'ingranaggio della ruota posteriore. Il successivo aumento dei rapporti di trasmissione sono un esempio dell'evoluzione da sistema statico a dinamico, da stazionario a fluido o da

“zero gradi di libertà” ad “infiniti gradi di libertà”. Se riuscite a capire dove è situato il sistema attuale rispetto ai fabbisogni dei clienti che sono più avanti in questo trend evolutivo, potete indirizzare in modo consapevole gli sforzi di ricerca e sviluppo.

Seguendo questo trend evolutivo, è stato introdotto il cambio a 3 velocità ospitato nel mozzo posteriore. Il cambio a 5 velocità aveva una corona anteriore e 5 corone posteriori raggruppate a pacco. Un deragliatore attuato attraverso un cavo permetteva di cambiare la corona posteriore alla quale si indentava la catena. Come era prevedibile, un deragliatore è stato applicato anche in uscita dalla corona anteriore e ulteriori corone sono state aggiunte sia davanti che dietro, arrivando alla configurazione tipica di 6 corone posteriori e 3 anteriori, per un totale di 18 rapporti.

Sembra evidente che le biciclette del futuro cambieranno il rapporto automaticamente e avranno ancora più rapporti. Il sistema ideale avrebbe un numero infinito di rapporti che cambiano continuamente in modo da permettere al ciclista un unico sforzo predeterminato e costante, indipendentemente dal terreno.

Questa evoluzione può essere rappresentata come un diagramma di flusso che, iniziando da un sistema statico, evolve in un sistema variabile a livello meccanico, e dovrebbe condurre ad un sistema variabile a livello micro.

Di seguito sono descritte altre modalità di evoluzione attraverso l'aumento di dinamicità.

Dinamizzazione esterna

Esempi di dinamizzazione “esterna” sono la riduzione del “grado di stabilità” di un sistema (da intendere come “la tendenza a non cambiare”) o la trasformazione di un sistema da stazionario a mobile.

Esempio: i postini possono danneggiare il proprio veicolo quando, per non voler ogni volta scendere dal veicolo stesso, ritirano la posta dalle cassette postali ai bordi delle strade (e quindi devono pericolosamente accostarsi). È stato ideato un sistema montato su delle guide telescopiche. Il veicolo postale emette un segnale infrarosso, che attiva il sistema telescopico che muove la cassetta postale verso il veicolo, in modo da facilitare l'operazione del postino.

Dinamizzazione interna

La “dinamizzazione interna” viene raggiunta aumentando i gradi di libertà del sistema mediante la suddivisione del sistema in parti mobili.

Esempio: dei pezzi con geometrie complesse possono essere afferrati più facilmente da un utensile con una parte di presa composta da molti piccoli cilindri verticali in grado di muoversi orizzontalmente. Un utensile tradizionale con un organo di presa piatto non sarebbe così efficace. (si veda la Figura 7 del Capitolo 4).

Esempio: uno dei parametri di performance fondamentali di un batiscafo è quello di poter discendere velocemente verso il fondo. Una volta raggiunte le prossimità del fondo, è importante evitare la collisione con il fondo stesso, riducendo la velocità. È possibile rallentare in modo semplice la velocità sganciando le zavorre dal batiscafo, ma sul fondo dell'oceano la visibilità è limitata ed è quindi difficile determinare con precisione l'approssimarsi del fondale. Un problema analogo esiste nel campo delle mongolfiere. Per rallentare la discesa di una mongolfiera in prossimità del suolo, un pesante cavo è appeso all'esterno; a mano a mano che la mongolfiera scende e si avvicina al suolo, il cavo si appoggia al suolo e diminuisce gradualmente il peso e quindi la velocità di discesa della mongolfiera. Nel caso del batiscafo il cavo è stato sostituito da una pesante catena di metallo (Figura 3).

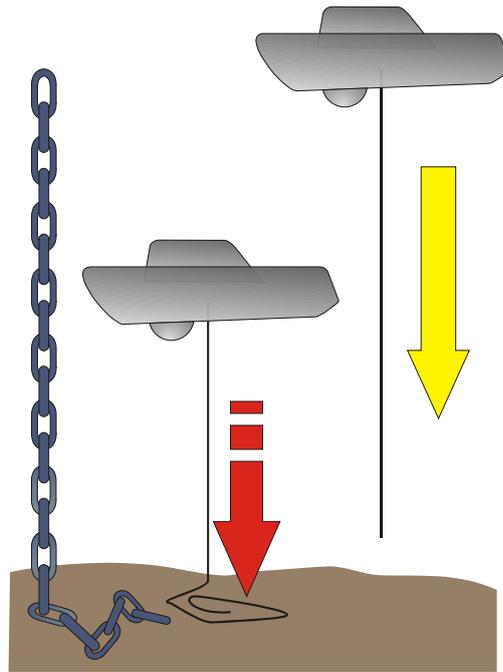


Figura 3. Viene utilizzata una catena per ridurre la velocità di discesa di un batiscafo proporzionalmente all'approssimarsi del fondo marino

La dinamizzazione interna può anche essere ottenuta attraverso l'applicazione al sistema di un effetto fisico.

Esempio: alle basse temperature la superficie di scambio termico di uno scambiatore di calore dovrebbe essere minima, per prevenire le perdite di calore. Alle alte temperature, invece, la superficie di scambio dovrebbe essere abbondante, per una dispersione più rapida del calore.

Per realizzare uno scambiatore di calore migliore, è possibile attaccare allo scambiatore delle alette costruite in lega nichel-titanio (un materiale a memoria di forma). Alle basse temperature le alette sono ripiegate contro il corpo dello scambiatore; alle alte temperature, le alette si distendono e si allontanano dalla superficie dello scambiatore, aumentandone l'area utile (Figura 4).

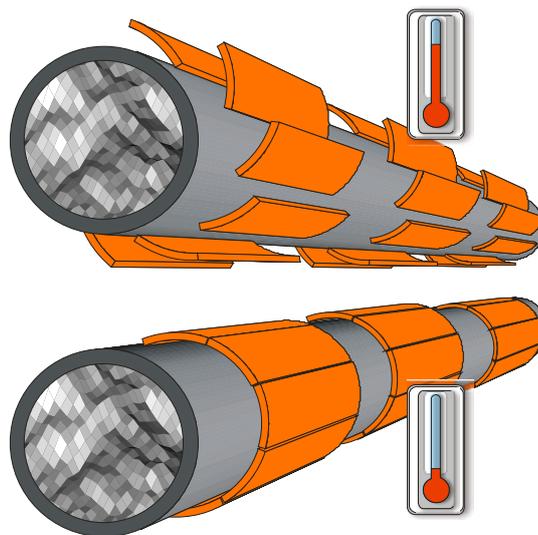


Figura 4. Uno scambiatore di calore auto-regolante

Introduzione di un oggetto mobile

Il livello di dinamicità di un sistema può essere aumentato anche mediante l'introduzione di un oggetto mobile. Questo tipo di dinamizzazione può essere raggiunta attraverso l'introduzione di elementi che possono essere sostituiti, che hanno caratteristiche dinamiche, oppure che introducono elementi di regolazione e connessioni.

Esempio: gli spoiler (ali che hanno il compito di deflettere il flusso d'aria) vengono utilizzati per aumentare la stabilità di un'automobile alle elevate velocità. Gli spoiler aumentano inutilmente però la resistenza aerodinamica delle automobili alle velocità più basse.

L'utilizzo di spoiler anteriori e posteriori retrattili può fornire un flessibile aumento delle prestazioni complessive dell'auto. In condizioni di asciutto e per velocità fino a 120 km/h lo spoiler anteriore può essere retratto per ridurre la resistenza aerodinamica; alle velocità più elevate, può invece essere gradualmente esteso per aumentare la stabilità.

In caso di pioggia ed a velocità maggiori di 45 km/h, sia lo spoiler anteriore che quello posteriore possono essere estesi per ridurre il pattinamento sull'acqua ed aumentare la stabilità. Durante la frenata lo spoiler posteriore può essere esteso particolarmente in modo da agire come freno aerodinamico (Figura 5).

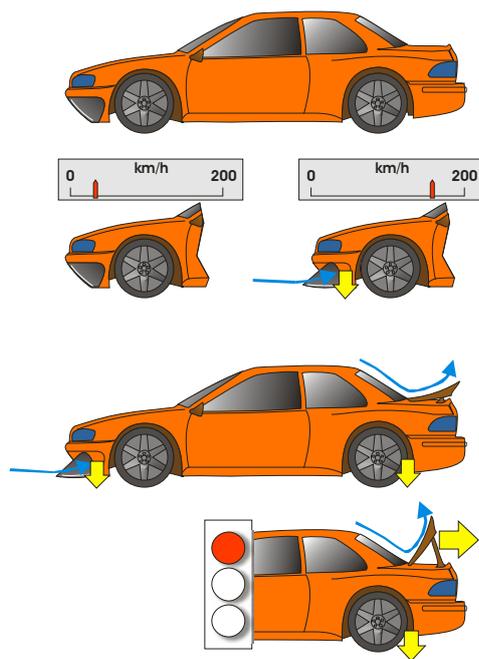


Figura 5. Uno spoiler estensibile migliora la performance di un'auto nelle diverse condizioni d'utilizzo

5. Aumento della complessità seguito da semplificazione

I sistemi tecnologici tendono a svilupparsi attraverso un iniziale aumento della loro complessità (aumentano la quantità e la qualità delle funzioni erogate), e successivamente attraverso una semplificazione (la stessa o una migliore prestazione viene fornita attraverso un sistema con un grado di

complessità inferiore). Il trend tecnologico può essere seguito con una trasformazione del sistema secondo la logica

Mono-sistema \Rightarrow Bi-sistema \Rightarrow Poli-sistema

Verranno presentati 4 differenti percorsi evolutivi possibili.

Molti prodotti inizialmente offrono una nuova funzione; in seguito offrono diverse varianti della nuova funzione o differenti funzioni.

Ad esempio, la prima penna a sfera aveva una cartuccia di inchiostro blu (che spesso perdeva inchiostro); i successivi modelli permettevano di scrivere in 3 differenti colori (ovvero diverse varianti della stessa funzione). Una graffatrice che incorpora lo strumento per rimuovere le graffette (ovvero espleta una funzione diversa) costituisce un bi-sistema.

Il correttore a nastro (*l'evoluzione del comune "bianchetto" usato per correggere i documenti N.d.T.*) permette di correggere gli errori di scrittura nei documenti. Il correttore fornito in un dispenser permette di avere strisce correttive di diversa lunghezza in grado di correggere errori ed aderire sulla comune carta utilizzata per scrivere. Questo tipo di prodotto può essere acquistato in ogni negozio di materiale per ufficio.

La realizzazione di un dispenser più grande per ricoprire delle scritte più grandi può essere visto come una estensione della soluzione precedente. Potrebbe invece essere utile la realizzazione di un singolo dispenser che contiene rulli di nastro bianco di diversa grandezza.

Un'evoluzione del tipo appena descritto rappresenta un trend Mono-Bi-Poli secondo una singola funzione omogenea, ed è rappresentata dalla prima colonna della Figura 6.

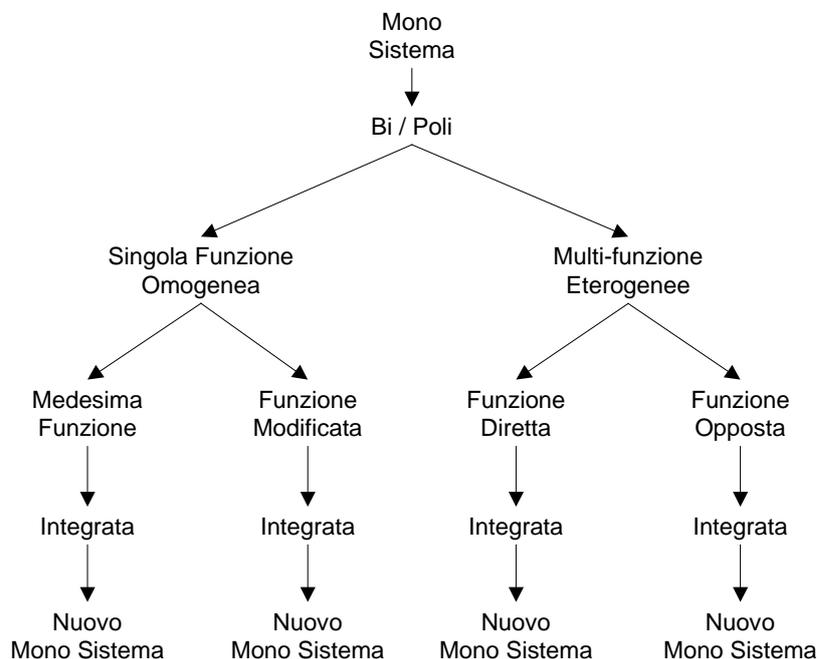


Figura 6. L'evoluzione Mono-Bi-Poli sistema

Un dispenser in grado di produrre diversi colori, trame e materiali eroga la stessa funzione ma in diverse modalità. Siamo di fronte all'applicazione in un poli-sistema di una singola funzione, omogenea,

modificata, rappresentata dalla seconda colonna della Figura 6. *(il sistema è multiplo, quindi un poli-sistema, e svolge una funzione omogenea in quanto fornisce un nastro per la correzione di errori di scrittura, ma offre diverse caratteristiche del nastro stesso, quindi realizza la funzione secondo modalità differenti. N.d.T.)*

Un dispenser che incorpora una graffatrice ed una lama, ha assommato funzioni differenti nello stesso sistema, che verrebbe ad essere un sistema multi-funzione, eterogeneo, con funzioni dirette *(ovvero funzioni che non vanno a contrastare le altre funzioni, N.d.T.)*. La rappresentazione di questo percorso è nella terza colonna della Figura 6.

Considerate ora di convertire il bi o poli-sistema con caratteristiche modificate in un sistema eterogeneo che svolge la funzione e la funzione inversa, un sistema unito ad un "anti-sistema" (ad esempio, una graffatrice unita ad un sistema per togliere le graffette). Questo tipo di evoluzione è descritto nella colonna 4.

Se le funzioni e le diverse modalità vengono integrate, viene creato un nuovo mono-sistema.

Esempio: le prime fotocopiatrici facevano solo delle copie. Le macchine più recenti possono stampare su entrambi i lati e graffiare o rilegare i documenti. Queste macchine sono nuovi mono-sistemi di livello più alto.

Questo processo evolutivo può essere utilizzato per immaginare oggi i prodotti di domani. Se oggi siete di fronte ad un mono-sistema, quale potrebbe essere il bi o il poli-sistema di domani? Riuscite ad immaginare come potrebbe essere il mono-sistema che ne deriverà in seguito alla integrazione delle diverse funzioni?

È anche possibile combinare insieme diversi trend evolutivi.

Esempio: i catamarani sono barche a vela ad elevata stabilità grazie alla coppia di scafi (un sistema omogeneo). Vincolando rigidamente gli scafi (un sistema statico nel trend della dinamizzazione) si limita la manovrabilità del catamarano. Collegando gli scafi attraverso delle giunzioni scorrevoli è possibile regolare la distanza fra gli scafi e quindi migliorarne la manovrabilità (Figura 7). Un sistema di questo tipo costituisce un bi-sistema omogeneo dinamico (dall'applicazione di una soluzione di questo tipo nasce un problema derivato, ovvero la regolazione delle sartie, i cavi metallici che sostengono l'albero). Niente impedisce di combinare diversi trend evolutivi per crearne di nuovi.

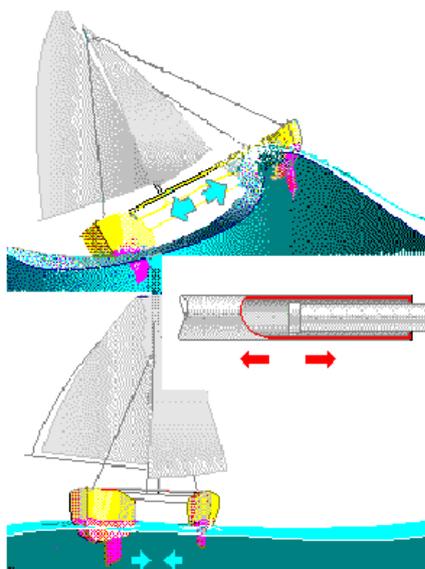


Figura 7. Collegando gli scafi gemelli di un catamarano con un collegamento regolabile in lunghezza, è possibile aumentarne la manovrabilità

Esempio: un “bi-sistema non omogeneo con funzioni opposte” aumenta la velocità di un idrogeneratore.

Per ottenere una elevata efficienza nella produzione di energia, un idrogeneratore dovrebbe avere una elevata velocità di rotazione della turbina; in presenza di un flusso d’acqua insufficiente, tale velocità di rotazione non è raggiungibile con il sistema tradizionale. Se lo statore potesse essere fatto girare nella direzione opposta, la velocità relativa tra rotore e statore sarebbe di fatto raddoppiata. Per far questo, l’acqua potrebbe essere diretta attraverso due differenti canali per spingere sia il rotore che lo statore. Lo statore non è più quindi uno “statore”, ma un contro-rotore (Figura 8).

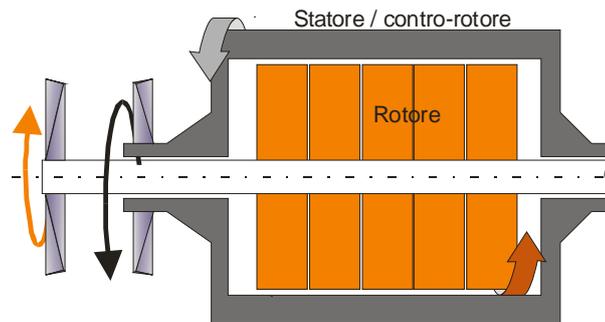


Figura 8. Aumentare l'efficienza di un idrogeneratore trasformando lo statore in un contro-rotore

Esempio: non tutti i semi delle piante da frutto hanno la stessa “vitalità”. È possibile aumentare le probabilità di una crescita sana e veloce degli alberi da frutto, utilizzando un “poli-sistema omogeneo”. Tre semi vengono piantati nello stesso punto. Dopo circa 2 mesi, si sceglie la piantina più sana e si taglia la cima delle altre 2; le radici di quest’ultime vengono innestate sulla pianta più sana. In questo modo la pianta sana riceve acqua e nutrienti da un triplo sistema di radici, permettendole quindi una crescita più veloce (Figura 9 e 10).



Figura 9 e 10. La crescita di una nuova pianta può essere migliorata con l'impianto di due radici provenienti da altre piantine

6. Evoluzione attraverso il coordinamento e il de-coordinamento di elementi

(questo trend evolutivo è anche conosciuto come “armonizzazione dei ritmi delle parti del sistema”, che è la dizione che personalmente ritengo più adeguata. De-coordinare degli elementi di un sistema è, a mio avviso, un atto di coordinamento. Un insieme di parti con vibrazioni appositamente non coordinate è una forma di coordinamento e porta a risultati ben diversi da quelli ottenibili con un insieme di parti assolutamente non coordinate. N.d.T.)

Questo trend evolutivo potrebbe essere chiamato “la contraddizione della marcia militare”. Durante un corteo, la marcia all'unisono dei militari crea un effetto sicuramente spettacolare. Purtroppo questo effetto può distruggere un ponte. Per questo motivo la procedura operativa standard per un gruppo militare in fase di attraversamento di un ponte prevede che i singoli soldati possano camminare con la propria normale andatura e velocità; la marcia coordinata, infatti, può generare una vibrazione in grado di distruggere il ponte. La contraddizione è quindi risolta attraverso l'impiego del principio di separazione nel tempo discusso nel Capitolo 4.

Molte aziende si vantano della loro comprensione e applicazione del Processo di Controllo Statistico (SPC). In queste aziende vengono profusi molti sforzi al fine di ridurre la variabilità. Il loro scopo è infatti quello di ridurre il livello di variabilità tra i prodotti, ma non deve necessariamente essere confuso con la riduzione della variabilità dei prodotti. Rendere simmetrici i componenti di un prodotto può infatti ridurre la performance del prodotto stesso.

Un utensile da taglio dotato di 6 lame è più produttivo se i denti di taglio non sono posti esattamente a 60 gradi l'uno dall'altro. Una configurazione del tipo 60,5 59 61 62 58 e 59,5 genererebbe sei diverse frequenze, evitando in questo modo di produrre una vibrazione risonante.

Secondo questo trend evolutivo, gli elementi del sistema sono coordinati o de-coordinati al fine di migliorare la prestazione e per compensare effetti indesiderati. Un esempio di questo percorso evolutivo può essere dato dallo sviluppo delle ruote nei sistemi di trazione:

- a. Elementi non coordinati
un trattore con ruote sull'anteriore e cingoli al posteriore
- b. Elementi coordinati
quattro ruote identiche sulle auto
- c. Elementi de-coordinati
ruote anteriori piccole e posteriori di grande diametro sulle dragster
- d. Coordinamento e de-coordinamento dinamico
differente angolo di sterzo delle ruote anteriori destra e sinistra sulle auto di alta gamma

Un altro semplice esempio di de-coordinamento di componenti è già stato presentato parlando dei montanti del motore (Figura 1, Capitolo 4).

7. Evoluzione verso il micro e l'incremento dell'uso di campi

I sistemi tecnologici tendono ad evolvere da macrosistemi a microsistemi. Durante questa trasformazione, vengono sfruttati diversi tipi di campi energetici per garantire migliore controllo e prestazione. Il flusso di evoluzione da un macrosistema a un microsistema è suddivisibile in 7 fasi (Figura 11).

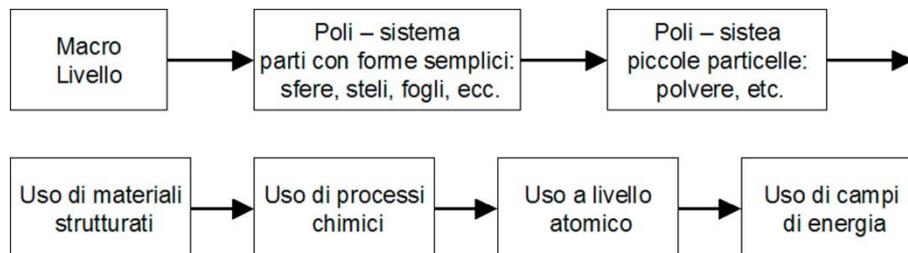


Figura 11. Le 7 fasi dell'evoluzione da macrosistema a microsistema

L'evoluzione del forno da cucina può essere descritta in 4 fasi:

1. La grande stufa a legna in ghisa
2. Il fornello più piccolo alimentato a gas naturale
3. Il fornello e il forno alimentati elettricamente
4. Il forno a microonde

Nel settore dell'edilizia possono essere identificate 7 fasi

1. Macrolivello - travi
2. Forme semplici – assi da costruzione
3. Piccole particelle – assi di truciolato
4. Materiale strutturato – fibre di legno orientato
5. Chimico – assi stampate in composito
6. Atomico – volte sostenute da aria
7. Campi di energia – creare dei muri allineando delle particelle ferrose con un campo magnetico

Fate riferimento al Capitolo 6 per una trattazione delle modalità innovative per modificare il campo utilizzato dal sistema per produrre la funzione desiderata.

Esempio: La produzione di cemento richiede la cottura della materia prima per la produzione del clinker. *(l'originale descrizione del processo contenuta nel libro è stata lievemente corretta N.d.T.)*

Nel processo viene utilizzato uno speciale forno orizzontale a rotazione, che consiste sostanzialmente in un grosso tubo cilindrico riscaldato lungo circa 100 metri e largo 3). Per potersi scaldare in modo corretto il materiale deve essere in contatto con il cilindro o comunque con un solido ad alta temperatura. A questo fine vengono utilizzate circa 100 tonnellate di catena metallica che, sospesa all'interno del cilindro,

contribuisce ad un più efficiente trasferimento del calore ma macina anche il clinker producendo una polvere finissima dannosa.

Il risultato è quindi che un forno rotatorio tradizionale non solo è enorme e molto costoso, ma consuma molta energia ed ha alti livelli di inquinamento (Figura 12).

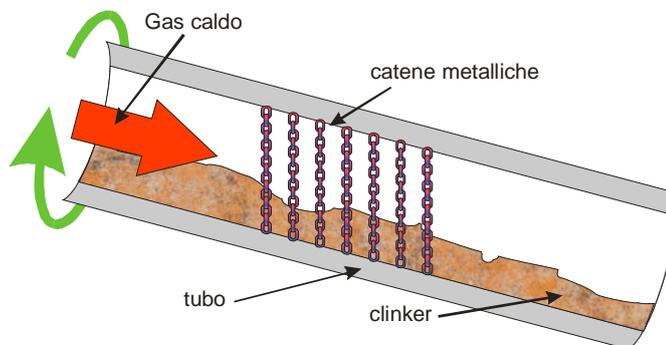


Figura 12. L'uso di catene e di un forno rotatorio per il riscaldamento della materia prima e la produzione di cemento

Esiste un nuovo metodo per la cottura del clinker che non produce polvere. La materia prima viene insufflata dal fondo di un bagno di ferro fuso. La materia prima che passa attraverso il ferro fuso ha il tempo di cuocere prima di trasformarsi in clinker e galleggiare quindi sulla superficie. Le fornaci per la cottura del cemento che usano il ferro fuso sono molto più piccole, consumano meno energia e operano in modo pulito (Figura 13).

È importante sottolineare che se il trend delle funzioni è di passare da un livello macro ad uno micro, le dimensioni dell'intero sistema non necessariamente diminuiscono. Infatti spesso le dimensioni dei sottosistemi che realizzano le singole funzioni diminuiscono, ma il sistema complessivo può assorbire più funzioni e divenire più grande.

Ad esempio, le stampanti laser hanno dimensioni maggiori delle precedenti stampanti a matrice di punti (le vecchie stampanti ad aghi), in quanto hanno assorbito molte funzioni aggiuntive.

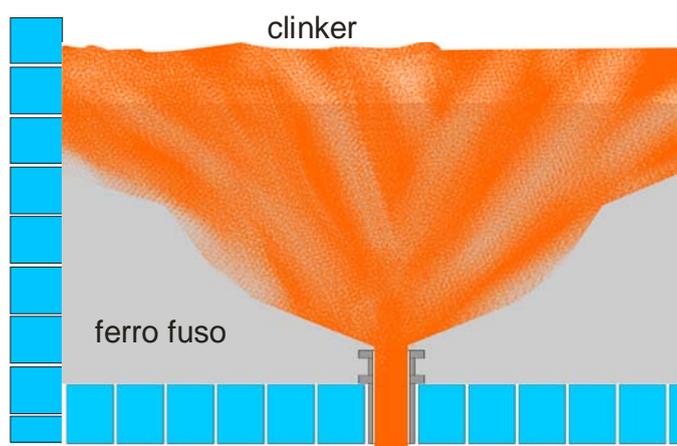


Figura 13. Una fornace a bagno di ferro fuso per la cottura del clinker

8. Evoluzione verso la riduzione del coinvolgimento dell'uomo

I sistemi tecnologici vengono creati per realizzare dei compiti noiosi, permettendo alle persone di dedicarsi maggiormente al lavoro intellettuale.

Questa legge evolutiva è spesso sottostimata nel mondo TRIZ e troppo spesso e frettolosamente spiegata come mera "tendenza all'automazione". Personalmente ritengo che sia una delle leggi evolutive fondamentali, in grado di spiegare la maggior parte delle evoluzioni tecnologiche.

I sistemi tecnologici sono creati dall'uomo per l'uomo. Ogni intervento umano richiesto per lo svolgersi di un qualsiasi compito, può indicare una possibile area di intervento innovativo, a meno che quell'intervento non sia fondamentale desiderato dall'uomo. Ad esempio, l'atto di pedalare in una bicicletta può essere (ed è stato) eliminato o facilitato con un motore. In una bicicletta da camera lo sforzo della pedalata è proprio l'effetto richiesto al sistema. N.d.T.

Esempio: un centinaio di anni fa il lavaggio dei vestiti (mastello ed asse per lavare) era un processo ad alta intensità di lavoro umano. Le lavatrici con strizzatoio vennero sviluppate per ridurre la quantità di lavoro umano necessario per un'efficace pulizia del bucato, ma era comunque richiesta una considerevole quantità di tempo dell'operatore. Le lavatrici automatiche hanno ridotto ulteriormente il tempo e lo sforzo necessario per la realizzazione del compito.

È importante sottolineare ancora una volta che, per poter delineare le caratteristiche dei futuri sistemi (forecasting tecnologico), è fondamentale prendere in considerazione tutte le tendenze evolutive.

Una clusterizzazione delle alternative di evoluzione evidenzierà dei clusters di sistemi che hanno maggiori probabilità rispetto ad altri, indicando la miglior direzione di sviluppo da seguire.

L'ultimo capitolo offre alcune indicazioni per implementare con successo questa modalità rivoluzionaria di innovazione strutturata chiamata TRIZ.

"La storia dell'uomo diviene sempre più una corsa tra l'educazione e la catastrofe"

H. G. Wells

da The Outline of History, 1920

8. Implementazione

Implementazione, argomenti Non-TRIZ

TRIZ fornisce una metodologia per la creazione di concepts solutivi, ma non deve essere inteso come uno strumento per sviluppare una soluzione tecnica completa. La soluzione si troverà nei *concepts*, ma i dettagli dovranno poi essere sviluppati. Come abbiamo visto, utilizzando un rapido sbalzo di pressione per causare la rottura di un oggetto (Capitolo 1), l'idea alla base della soluzione è la stessa, ma i sistemi utilizzati ed i dettagli sono diversi per ogni situazione.

Per ottenere risultati è importante avere delle aspettative chiare prima di usare la metodologia TRIZ.

Vi sono molti aspetti legati al successo dell'implementazione della metodologia TRIZ che non hanno nulla a che vedere con TRIZ. Uno di questi, ad esempio, riguarda la selezione del problema; l'ISQ (il questionario sulla situazione innovativa) è uno strumento molto potente quando usato nel corretto spazio del problema.

Il prodotto deve essere "guidato dal cliente" o "guidato dalla tecnologia"? In entrambi i casi dovrebbero essere presi in considerazione alcuni aspetti di processi quali il QFD (Quality Function Deployment). Il QFD traduce i bisogni e i desideri del cliente e/o del committente nel linguaggio degli ingegneri. Le caratteristiche importanti per il cliente vengono messe in relazione con i requisiti tecnici ed i valori obiettivo del sistema.

I vincoli aziendali devono essere chiariti, sia che provengano dall'organizzazione interna che dal cliente. La soluzione potrebbe trovare dei vincoli negli alti investimenti di capitale, nelle strutture produttive oppure in considerazioni legate all'immagine aziendale.

Un'altra area che TRIZ non prende in considerazione è la composizione del gruppo di lavoro. È ormai abbastanza nota la differenza tra il pensiero dell'emisfero destro e sinistro del cervello. L'emisfero destro tende ad essere emozionale, creativo e destrutturato, mentre quello sinistro è più analitico, logico e rigido.

Ned Hermann, nel suo libro *The Creative Brain*, identifica quattro (e non solo due) tipi di comportamento³⁰.

Le persone che usano maggiormente l'emisfero sinistro vengono divise in *tecnici*, che usano prevalentemente il quadrante "corticale sinistro", e *amministratori*, prevalenti nel quadrante limbico sinistro.

Le persone che usano maggiormente l'emisfero destro vengono invece divise in *pensatori creativi*, prevalenti nel quadrante "corticale destro", e *socialmente coscienti*, che usano in prevalenza il quadrante limbico destro.

Tutti e quattro le tipologie di comportamento sono necessarie nell'arco della vita di un progetto e quindi tutti e quattro i tipi di persone servono per comporre un team di progetto bilanciato.

Ogni individuo ha un diverso tipo di comportamento prevalente. I manager di alto livello tendono ad avere un buon bilanciamento dei quattro. Gli ingegneri, invece, tendono ad essere logici, analitici e a sottostimare gli altri 3 tipi di comportamento.

A causa della sua struttura, TRIZ è più vicino alla modalità di pensiero della tipologia comportamentale "amministratore", così come classificata nel modello di Hermann.

Generalmente, analizzando la tipologia preferenziale di comportamento dei membri del team di progetto di un'organizzazione high-tech, emerge quasi sempre che si tratta di persone logiche ed analitiche. Di rado incontreremo un membro che predilige uno degli altri quadranti.

Una delle forze di TRIZ è che offre un approccio strutturato alla soluzione dei problemi. Tale approccio è compatibile con il modello di pensiero dei tecnici e degli amministratori, legato all'emisfero sinistro, ma allo stesso tempo aiuta questo tipo di persone a pensare in modo creativo (emisfero destro). In questo modo un tecnico nella media può diventare un inventore/innovatore sopra la media.

Mettere insieme tutti i concetti

Come si possono mettere insieme tutti i concetti finora esposti? Centinaia di specialisti TRIZ hanno fatto questo senza l'ausilio di nessun software, quindi deve essere possibile. La cosa più importante è la padronanza di ogni strumento. E' necessario fare pratica utilizzando tutti gli strumenti di TRIZ per ogni problema, anche se il problema non si adatta perfettamente alla struttura classica dei singoli strumenti. Questo tipo di approccio vi aiuterà a capire i punti di forza di ogni strumento ed i suoi limiti.

L'uso concreto di TRIZ dovrebbe iniziare con la raccolta di tutte le informazioni disponibili sull'argomento in esame. A questo punto decidete se è possibile risolvere il problema velocemente senza dover ricorrere ad ulteriori analisi. Se conoscete la soluzione, allora la soluzione è completa e probabilmente è una semplice innovazione di livello 1.

Il questionario sulla situazione innovativa (Capitolo 2)

Se il problema è più complesso e richiede un livello di inventiva superiore, il migliore modo per iniziare è quello di compilare l'ISQ; così facendo spesso emergono delle possibili azioni correttive che possono risolvere il problema. Una soluzione di questo tipo probabilmente sarà ancora un'innovazione di Livello 1. Se avete trovato la soluzione, il lavoro inventivo è finito.

La formulazione del problema (Capitolo 3)

Una volta completata la raccolta dei dati il problema dovrebbe essere formulato utilizzando le procedure descritte nel Capitolo 3. Anche in questo caso è possibile che, durante l'applicazione di questo strumento emergano soluzioni al problema, senza che si renda necessario il ricorso a strumenti basati sulla conoscenza. Ancora una volta probabilmente vi troverete di fronte ad una soluzione di Livello 1.

Sistemi complessi hanno bisogno di 10 o 15 formulazioni del problema, cosa che può facilmente portare a parecchie centinaia di definizioni di problemi. Perciò, prima di iniziare con la formulazione del problema, ascoltate "la voce del cliente".

Quali esperienze ha vissuto il cliente/committente rispetto al prodotto?

Iniziate dall'apertura dell'imballaggio e fate una analisi funzionale di tutto ciò che c'è dentro. Fate la stessa cosa con la parte esterna del prodotto, rimuovete l'esterno e prendete in considerazione ogni parte dell'interno. Osservate i sotto sistemi e chiedetevi "perché?" ancora ed ancora.

Il diagramma si costruisce mettendo in relazione tutto quanto compone il sistema con la Funzione Utile Principale (PUF) e con la Funzione Nociva Principale (PHF). Le funzioni secondarie vengono incluse andando al livello di dettaglio richiesto dalla necessità particolare che ha generato il progetto.

(Non è facile individuare il livello di dettaglio necessario e sufficiente alla soluzione di un problema reale. Col tempo e l'esperienza vi sarà sempre più facile, ma resta comunque un passo importante che può farvi risparmiare molto tempo prezioso. N.d.T.)

I collegamenti tra i nodi del diagramma rappresentano delle relazioni causali. Una volta completato il diagramma è possibile evidenziare dei sottoinsiemi in modo da associare fra loro elementi dello schema che sono in relazione.

Ora inizia il processo di formulazione del problema. L'output del processo è un insieme di "definizioni del problema" che portano a delineare lo "spazio del problema".

In genere non vi sarà possibile lavorare su tutte le definizioni del problema che avrete prodotto; per questo motivo è necessario creare tre gruppi di problemi, che rifletteranno le risposte alle seguenti domande:

Gruppo I – Quale definizione del problema rappresenta problemi che possono essere facilmente risolti nell'immediato futuro?

Gruppo II – Quale definizione del problema rappresenta il prodotto della prossima generazione?

Gruppo III – Quali definizioni del problema sono fuori dalla nostra portata, ma sollevano questioni che potrebbero rivelarsi utili in futuro?

Questo raggruppamento in tre categorie deve rappresentare una linea guida generale per il progetto e non deve essere seguito in modo acriticamente rigido. In quale gruppo mettereste una definizione del problema che emerge chiaramente dallo schema come possibile generatore di concept innovativi? (*ricordate che una "definizione del problema" è il punto di partenza per l'ideazione di soluzioni! N.d.T.*)

È importante pertanto definire i criteri di valutazione per poter classificare le diverse definizioni del problema; in caso contrario state classificando tutti i problemi come egualmente importanti. L'*Analytic Hierarchy Process* (AHP) viene fortemente raccomandato in questa fase. Lo stesso processo di classificazione, eventualmente con parametri differenti, dovrebbe essere utilizzato anche per la valutazione dei conceptolutivi che verranno trovati.

Come dichiarato all'inizio, l'85% dei problemi innovativi vengono risolti prima dell'applicazione sia degli strumenti analitici del TRIZ che di quelli "basati sulla conoscenza". Anche il semplice ma rigoroso utilizzo dell'ISQ e del processo di formulazione del problema, può portare il team alla soluzione del problema.

Per i problemi per i quali a questo punto non è ancora emersa una soluzione, esiste un insieme di strumenti di analisi del problema che vi permetterà di generare concept dirompendi.

Esistono delle sovrapposizioni fra molti di questi strumenti; in genere, attraverso l'esperienza, chi pratica il TRIZ individuerà il proprio strumento favorito, che diverrà quello che utilizzeranno per primo. Ma per quelli che sono agli inizi, la domanda si pone ora è "Cosa faccio adesso?".

Scelta dello strumento

Alcuni degli strumenti proposti servono per l'analisi, altri per fornire conoscenza e informazioni. Ogni strumento ha propri punti di forza e di debolezza che dipendono dall'obiettivo specifico per cui sono stati creati.

L' Analisi delle Contraddizioni tecniche (Capitolo 4)

Tipo di strumento - Basato sulla conoscenza (Knowledge based)

Punto di forza - Facile e semplice da utilizzare. Offre indicazioni per la soluzione di 1.201 contraddizioni.

Debolezza - Il problema deve essere ricondotto necessariamente ad uno dei 39 parametri; il sistema inoltre deve essere un sistema esistente o deve essere presente una contraddizione tecnica. I concept che ne derivano sono quindi "qualitativi" e con un alto livello di astrazione.

Adatto per - ...problemi definiti in forma di contraddizione che è possibile far rientrare nei 39 parametri

(la trasformazione di una contraddizione tecnica in una contraddizione fisica permette, a mio avviso, non solo di individuare il cuore della contraddizione, ma anche di utilizzare gli strumenti per la soluzione delle contraddizioni fisiche, decisamente più potenti rispetto alla matrice delle contraddizioni. N.d.T.)

Il sistema ideale (Capitolo 5)

Tipo di strumento - Analitico

Punto di forza - Definisce una visione del futuro, un obiettivo, fornendo le indicazioni sulla direzione da seguire. Funziona molto bene con sistemi di nuova concezione.

Debolezza - Le linee guida sono generali. Dipende molto dall'esperienza e dalle informazioni a disposizione.

Adatto per - ...stimolare forme di pensiero ed idee non tradizionali.

Il concetto di sistema ideale è un elemento del più ampio strumento analitico conosciuto come ARIZ (Algoritmo per la soluzione dei problemi inventivi)

Analisi S-field (Capitolo 6)

Tipo di strumento - Analitico

Punto di forza - Molto strutturato, permette di generare molte differenti idee

Debolezza - Richiede una buona conoscenza della fisica per poter identificare i possibili campi da utilizzare nel sistema

Adatto per - ...generare idee su sistemi esistenti... utilizzare altre forme di energia e informazioni provenienti da ambiti diversi

Trend evolutivi (Capitolo 7)

Tipo di strumento - Basato sulla conoscenza (Knowledge based)

Punto di forza - Fornisce indicazioni sulla probabile evoluzione tecnologica del sistema

Debolezza - Non è semplice identificare il trend maggiormente rilevante rispetto al sistema in analisi; è inoltre difficile individuare l'esatto posizionamento del sistema lungo la linea evolutiva.

Adatto per - ...immaginare oggi i prodotti di domani e delineare le caratteristiche dei sistemi della prossima generazione.

In questo libro sono stati presentati 4 strumenti analitici e 2 "basati sulla conoscenza". Gli strumenti analitici forniscono indicazioni sui percorsiolutivi da adottare, quelli "basati sulla conoscenza" portano in genere a dei conceptolutivi.

È possibile riscontrare una grande sinergia tra il TRIZ e due strumenti caratteristici della Qualità, ovvero il QFD e il metodo Taguchi. Utilizzando questi tre approcci in modo combinato è possibile realizzare un processo di progettazione potente ed efficace.

Sinergia

La parola *sinergia* deriva dal termine greco *synérghēin*, che significa “lavorare assieme, cooperare”. In tutto il suo corso, un progetto diviene tanto più efficace quanto più il team riesce a sfruttare le sinergie esistenti fra i diversi strumenti. Come già anticipato, esistono tre strumenti in particolare che possono migliorare il processo di progettazione di un'azienda: il “*Quality Function Deployment*” (QFD), la “*Teoria per la soluzione dei problemi inventivi*” (TRIZ), ed il “*metodo Taguchi*”.

Il primo strumento, il “*Quality Function Deployment*”, traduce in linguaggio tecnico tutte le informazioni sul prodotto rilevanti per il cliente. TRIZ fornisce un metodo per generare soluzioni innovative mentre con il metodo Taguchi è possibile dare un valore ai parametri di progetto. Ognuno di questi strumenti, considerato singolarmente, ha dei punti di forza e delle debolezze, ma insieme formano una metodologia completa ed equilibrata.

Il QFD aiuta l'azienda a capire i suoi clienti; è un metodo fondato sulla raccolta precisa e minuziosa delle risposte dei clienti sia antecedenti che successive all'uso del prodotto/servizio. Produce molte informazioni sui punti di forza del prodotto e sui suoi difetti.

Le informazioni raccolte, provenendo direttamente dai clienti, sono intrinsecamente soggettive; sono la sintesi dei criteri di performance soggettivi richiesti dal cliente al prodotto/servizio e contengono indicazioni su chi, cosa, dove, quando e come il prodotto viene usato o potrebbe essere usato. (Per ulteriori informazioni, si veda *Step by Step QFD: Customer Driver Product Design*, St. Lucie Press [CRC], 1997³¹).

La classificazione soggettiva delle caratteristiche richieste al sistema e l'attuale livello di soddisfazione forniscono i dati iniziali del lavoro di innovazione. Le informazioni vengono tradotte nel linguaggio aziendale e sono utilizzate per allineare tutte le risorse dell'organizzazione con l'obiettivo di ideare e creare il prodotto o servizio che il cliente ha solamente sognato.

Il QFD indica la natura precisa dei futuri miglioramenti. Di contro il QFD non fornisce nessuna tecnica a supporto del processo di innovazione e quindi è necessario utilizzare altri strumenti in grado di stimolare l'immaginazione dei progettisti.

La Teoria per la soluzione dei problemi inventivi (TRIZ) permette un drastico miglioramento del processo di creazione di sistemi innovativi. TRIZ facilita “l'evoluzione guidata del prodotto” (*Directed Product Evolution, DPE*). La DPE permette ad un'azienda di progettare oggi i prodotti di domani, piuttosto che aspettare che questa evoluzione avvenga “naturalmente”.

Pur essendo un potente strumento per la generazione di nuove idee e di brevetti, TRIZ parte dall'assunto di base che il problema che il gruppo di lavoro sta analizzando sia il problema corretto. (*ovvero quanto richiesto dal cliente. TRIZ, soprattutto nella sua versione classica, non contiene strumenti particolari di analisi dei fabbisogni reali dei clienti. N.d.T.*)

TRIZ inoltre non fornisce le informazioni di dettaglio per il lavoro di progettazione finale.

La filosofia di Genichi Taguchi conosciuta come “*Robust Design*” fornisce ai progettisti un terzo strumento in grado di aiutarli a focalizzarsi sui peculiari punti di forza e di debolezza del sistema in esame. Il *Robust Design* permette di progettare un sistema in grado di avere una determinata performance, in modo non dipendente da influenze esterne non controllabili (per ulteriori informazioni, si veda *Robust Design: Key Points for World-class Design*).³²

Le tre maggiori fonti di variabilità della performance sono:

- Variazioni delle materie prime o dei componenti
- Variazioni del processo produttivo
- Variazioni dell'ambiente nel quale il prodotto verrà utilizzato

Ad esempio, per convogliare i piccoli allagamenti nelle cantine di casa, è ora possibile incollare una sorta di barriera al pavimento, sia che questo sia asciutto o bagnato. Questa è una soluzione robusta.

(Tiene conto delle diverse possibili situazioni nelle quali il cliente si troverà a dover operare in fase d'uso del prodotto. N.d.T.)

Il metodo di Taguchi tende anche a generare prodotti e processi flessibili, permettendo ai tecnici di anticipare e modificare il sistema per conformarsi a requisiti variabili o alle richieste future.

La combinazione di questi tre approcci genera un processo innovativo di progettazione guidato dal consumatore. La superiorità di questo metodo composito sta nel fatto che non è sensibile a fonti di variabilità. Qualsiasi influenza incontrollata possa emergere, non avrà un impatto negativo sulla performance del prodotto o del servizio.

QFD + TRIZ + Taguchi = Innovazione robusta guidata dal cliente

Risorse informative

Per ognuno dei tre processi descritti è possibile trovare facilmente informazioni sul web. Esistono due organizzazioni che realizzano conferenze che prevedono una parte relativa al TRIZ. L'*American Supplier Institute*, nel Michigan, organizza solitamente un congresso in novembre (telefono 800-642-4500). Il *QFD Institute*, sempre nel Michigan, organizza il proprio congresso in Giugno (telefono 313-995-0847).

La bibliografia contenuta nelle ultime pagine di questo libro fornisce inoltre un buon elenco di possibili letture sugli argomenti trattati.

Innovare può essere divertente. Le contraddizioni, viste non più come ostacoli insormontabili, ora rappresentano delle opportunità per sistemi innovativi e dirompenti. Gli autori di questo testo sperano di potervi incontrare ad uno dei tanti congressi nel mondo o via internet, in modo da poter condividere con voi il loro entusiasmo.

e-mail: john@terninko.com

Per contattare il traduttore e segnalare correzioni, integrazioni e commenti inviate una mail all'indirizzo: metodi@soluzioninventive.com

Web-site: www.soluzioninventive.com

*“...non è per questi che io elevo il mio canto di ringraziamento e di gloria,
ma per quelle ostinate domande sul senso e sulle cose del mondo esterno...”*

William Wordsworth

Da “Intimations of Immortality”, 1807

Appendice A: Selezione di effetti e fenomeni fisici per la generazione di soluzioni inventive^{33 34}

Effetto o proprietà richiesta

Fenomeno fisico che può realizzare l'effetto o fornire la proprietà richiesta

1. Misurare la temperatura

Dilatazione termica e sua influenza sulla naturale frequenza di oscillazione

Fenomeni termoelettrici

Spettro di radiazione

Cambiamenti nelle proprietà ottiche, elettriche e magnetiche delle sostanze

Effetti legati al superamento del punto di Curie

Effetto di Hopkins, Barkhausen, Seebeck

2. Ridurre la temperatura

Transizione di fase

Effetto Joule-Thomson

Effetto Ranque Hilsh

Effetto del riscaldamento magnetico

Fenomeni termoelettrici

3. Aumentare la temperatura

Induzione elettromagnetica

Corrente di Eddy (correnti indotte)

"Surface effect"

Riscaldamento dielettrico

Riscaldamento elettronico

Scarica elettrica – (effetto Volta)

Assorbimento di radiazioni

Fenomeni termoelettrici

4. Stabilizzare la temperatura

Transizione di fase, incluso il superamento del punto di Curie

5. Rilevare un oggetto

Introduzione di markers, ovvero di sostanze in grado di trasformare dei campi esistenti nel sistema (come il fosforo) o di generare dei campi propri (come le sostanze ferromagnetiche) e quindi di facile rilevazione

Emissione e riflessione di luce

Effetto fotoelettrico

Deformazione

Radioattività a raggi X

Fotoluminescenza

Cambiamento di campi elettrici e magnetici

Scariche elettriche – effetto Volta

Effetto Doppler

6. Muovere oggetti

Applicazione di campi magnetici per influenzare un oggetto o un magnete attaccato all'oggetto

Applicazione di campi magnetici per influenzare un conduttore attraversato da una corrente

Applicazione di un campo elettrico per influenzare un oggetto con carica elettrica

Trasferimento di pressione nei fluidi

Vibrazioni e oscillazioni meccaniche

Forze centrifughe

Dilatazione termica

Pressione di luce

7. Muovere fluidi

Tensione superficiale e capillarità

Osmosi

Effetto di Toms (*B.A. Toms, riduzione della turbolenza nel moto di un fluido N.d.T.*)

Onde

Effetto di Bernoulli

Effetto di Weissenberg

8. Muovere miscele, polvere, fumo, nebbia, ecc.

Ionizzazione

Applicazione di campi elettrici e magnetici

Pressione di luce

9. Formare miscele

Ultrasuoni

Cavitazione e vuoto

Diffusione
Applicazione di campi elettrici
Applicazione di campi magnetici in combinazione con materiali magnetici
Elettroforesi
Solubilizzazione

10. Separare miscele

Separazione elettrica e magnetica
Applicazione di campi magnetici e elettrici per cambiare la viscosità di un liquido
Forze centrifughe
Assorbimento
Diffusione
Osmosi

11. Stabilizzare la posizione di un oggetto

Applicazione di campi elettromagnetici
Cambiamento delle proprietà di un liquido sotto l'influenza di un campo elettrico o magnetico
Effetto giroscopio
Forze reattive

12. Generare / gestire delle forze

Generare alte pressioni
Applicazione di forze elettromagnetiche attraverso l'uso di materiali magnetici
Transizione di fase
Dilatazione termica
Forze centrifughe
Cambiamento delle forze idrostatiche attraverso la modifica della viscosità di un liquido elettroconduttivo o magnetico immerso in un campo magnetico
Uso di reazioni chimiche ed esplosivi
Effetto elettroidraulico (*generazione di un'onda d'urto in un fluido grazie ad una scarica elettrica N.d.T.*)
"Optical hydraulic effect"
Osmosi

13. Cambiare l'attrito

Effetto Johnson-Rahbeck
Influenza delle radiazioni
Effetto del bassissimo attrito (*ad esempio alle bassissime temperature N.d.T.*)

"No-wear friction effect"

14. Rompere oggetti

Scariche elettriche – effetto Volta

Effetto elettroidraulico

Risonanza

Ultrasuoni

Cavitazione e vuoto

Uso di laser

15. Accumulare energia meccanica / termica

Deformazione elastica

Giroscopio

Transizioni di fase

16. Trasferire energia attraverso deformazione meccanica, termica, da radiazione ed elettrica

Oscillazioni

"Alexandrov effect"

Onde di pressione

Radiazioni

Conduzione termica

Convezione

Riflessione di luce

Fibre ottiche

Laser

Induzione elettromagnetica

Superconduttività

17. Influenzare oggetti in movimento

Applicazione di campi elettrici o magnetici, senza necessità di contatto fisico

18. Misurare delle dimensioni

Misurare la naturale frequenza di oscillazione

Applicare e rilevare dei markers elettrici o magnetici

19. Variare delle dimensioni

Dilatazione termica

Deformazione

Magnetostrizione

Fenomeni piezoelettrici

20. Rilevare le proprietà o lo stato di una superficie

Scarica elettrica – effetto Volta

Riflessione e rifrazione di luce

Emissione elettronica

Effetto Moirè

Irraggiamento

21. Variare le proprietà di una superficie

Fenomeni legati all'attrito

Assorbimento

Diffusione

Effetto Bauschinger

Scarica elettrica

Oscillazioni e vibrazioni acustiche e meccaniche

Radiazioni ultraviolette

22. Rilevare le proprietà/condizioni di volumi

Introduzione di markers, ovvero di sostanze in grado di modificare dei campi esistenti nel sistema (come il fosforo) o di generare dei campi propri (come le sostanze ferromagnetiche), in relazione alle proprietà dell'oggetto in esame

Cambiamento della resistenza elettrica di un corpo

Interazioni con la luce

Fenomeni elettro-magneto-ottici

Luce polarizzata

Radioattività e irraggiamento con raggi X

Risonanza magnetica

Effetto magneto-elastico

Transizione oltre il punto di Curie

Effetto Hopkins – Barkhausen

Ultrasuoni

Effetto Moessbauer

Effetto Hall

23. Variare le proprietà di un volume

Applicazione di campi elettrici o magnetici in grado di variare le proprietà di un liquido (viscosità, fluidità, etc.)

Riscaldamento

Transizione di fase

Ionizzazione attraverso l'applicazione di campi elettrici

Radiazioni ultraviolette, raggi x, etc.

Deformazione

Diffusione

Campi elettro-magnetici

Effetto Bauschinger

Effetti termoelettrici, termomagnetici e magneto-ottici

Cavitazione e vuoto

Effetti fotocromatici

Effetto foto-elettrico interno

24. Sviluppare determinate strutture, stabilizzare la struttura

Interferenza

Onde stazionarie

Effetto Moirè

Onde elettromagnetiche + transizione di fase

Vibrazioni e oscillazioni meccaniche, onde acustiche

Cavitazione

25. Rilevare campi elettrici / magnetici

Osmosi

Elettrizzazione

Scarica elettrica – effetto Volta

Effetti piezo-elettrici e "*segneto-electrical effect*"

Electret

Emissione di particelle elettriche

Fenomeni elettro-ottici

Effetto Hopkins – Barkhausen

Effetto Hall

Risonanza magnetica nucleare

Fenomeni magneto-ottici o di orientamento dei domini magnetici

26. Rilevare radiazioni

Effetti fotoacustico
Dilatazione termica
"Photo effect"
Luminescenza
"Photo plastic effect" (PPE)

27. Generare radiazioni elettromagnetiche

Effetto Josephson
Induzione di radiazioni
Effetto tunnel
Luminescenza.
"Hann effect"
Effetto Cherenkov

28. Controllare campi elettromagnetici

Uso di schermi
Modifica delle proprietà elettriche (ad esempio modificando la conducibilità elettrica)
Cambiamento della forma di un oggetto

29. Controllare e modulare la luce

Rifrazione e riflessione
Fenomeni elettro/magneto-ottici
Fotoelasticità
Effetto Faraday e Kerr
"Hann effect"
"Franz – Keldysh effect"

30. Innescare e intensificare reazioni chimiche

Ultrasuoni
Cavitazione
Radiazioni ultraviolette, radioattive, raggi X
Scariche elettriche
Onde d'urto

Appendice B: I 39 parametri di Altshuller

1. **Peso di un oggetto mobile** - La forza misurabile, risultante dalla gravità, che un corpo in movimento esercita su una superficie di appoggio. Un oggetto si definisce in movimento quando la sua posizione cambia spontaneamente o per effetto di forze esterne.
2. **Peso di un oggetto stazionario** - La forza misurabile, risultante dalla gravità, che un corpo stazionario esercita su una superficie sulla quale è appoggiato e fermo. Un oggetto si definisce stazionario quando la sua posizione non cambia spontaneamente o per effetto di forze esterne.
3. **Lunghezza di un oggetto mobile** - La misura lineare di una dimensione (lunghezza, larghezza, profondità) di un corpo, misurata rispetto alla direzione del movimento del corpo stesso. Il movimento può essere causato da forze interne o esterne.
4. **Lunghezza di un oggetto stazionario** - La misura lineare di una dimensione (lunghezza, larghezza, profondità) di un corpo, misurata rispetto alla direzione nella quale non viene rilevato nessun movimento.
5. **Area di un oggetto mobile** - La misura quadratica di ogni piano o porzione di piano di un oggetto che può cambiare la sua posizione nello spazio in risposta a forze interne o esterne.
6. **Area di un oggetto stazionario** - La misura quadratica di ogni piano o porzione di piano di un oggetto che non può cambiare la sua posizione nello spazio in risposta a forze interne o esterne.
7. **Volume di un oggetto mobile** - La misura cubica di un corpo che può cambiare la sua posizione nello spazio in risposta a forze interne o esterne.
8. **Volume di un oggetto stazionario** - La misura cubica di un corpo che non può cambiare la sua posizione nello spazio in risposta a forze interne o esterne.
9. **Velocità** - Il ritmo al quale un'azione o un processo viene completato nel tempo.
10. **Forza** - La capacità di causare cambiamenti fisici ad un sistema o ad un oggetto.. Il cambiamento può essere completo o parziale, permanente o temporaneo.
11. **Sforzo/Pressione** - L'intensità di forze agenti su un oggetto o sistema, misurata come forza di compressione o tensione per unità di area.
12. **Forma** - L'apparenza esterna o il profilo di un oggetto o sistema. La forma può essere cambiata totalmente o parzialmente, permanentemente o temporaneamente in seguito a forze agenti sull'oggetto o sul sistema.
13. **Stabilità – integrità di un oggetto** - La resistenza offerta da un oggetto o sistema rispetto al cambiamento generato dall'interazione con altri oggetti o sistemi associati.
14. **Robustezza/Resistenza** - Entro limiti e condizioni definite, l'abilità di un oggetto o sistema di assorbire gli effetti di una forza, della velocità, dello stress, etc. senza rompersi.
15. **Durata dell'azione di un oggetto mobile** - La quantità di tempo durante la quale un oggetto che cambia posizione nello spazio è in grado di svolgere in modo appropriato la propria funzione.
16. **Durata dell'azione di un oggetto stazionario** - La quantità di tempo durante la quale un oggetto che non cambia posizione nello spazio è in grado di svolgere in modo appropriato la propria

funzione.

17. **Temperatura** - La sottrazione o l'aggiunta di calore ad un oggetto o sistema durante la realizzazione dell'azione richiesta, che potrebbe causare cambiamenti potenzialmente non desiderabili all'oggetto, sistema o prodotto.
18. **Luminosità** - La percentuale di energia luminosa rispetto all'area che viene illuminata dal o nel sistema. Il parametro luminosità include anche la qualità della luce, il grado di illuminazione e altre eventuali caratteristiche della luce.
19. **Energia utilizzata da un oggetto mobile** - Il dispendio energetico di un oggetto o sistema che cambia posizione nello spazio con mezzi propri del sistema stesso o sotto l'azione di forze esterne.
20. **Energia utilizzata da un oggetto stazionario** - Il dispendio energetico di un oggetto o sistema che non cambia posizione nello spazio con mezzi propri del sistema stesso o sotto l'azione di forze esterne.
21. **Potenza** - La percentuale di lavoro rispetto al tempo richiesta per realizzare l'obiettivo. Utilizzato per misurare il cambiamento di potenza richiesto ma potenzialmente non desiderabile in un oggetto o un sistema in determinate condizioni.
22. **Spreco di energia** - Aumento dell'incapacità di un oggetto o sistema di utilizzare delle forze, in particolar modo quando non viene prodotto nessun lavoro o risultato utile.
23. **Spreco di materia** - Diminuzione o eliminazione di materia da un oggetto o sistema, in particolar modo quando non viene prodotto nessun lavoro o risultato utile.
24. **Perdita di informazione** - Perdita totale o parziale di dati o input da un sistema.
25. **Spreco di tempo** - aumento del tempo richiesto per completare una determinata azione.
26. **Quantità di materia** - Il numero di elementi o la quantità di un elemento utilizzato per creare un oggetto o un sistema.
27. **Affidabilità** - L'abilità di un oggetto o sistema di svolgere adeguatamente le funzioni richieste durante un certo periodo o per un certo numero di cicli.
28. **Accuratezza della misura** - Il grado di prossimità fra la misura ed il valore reale di ciò che viene misurato.
29. **Precisione di lavorazione** - Il grado di corrispondenza fra le specifiche di progetto e gli elementi di un oggetto o sistema.
30. **Fattori negativi esterni che agiscono sull'oggetto** - Influenze provenienti dall'esterno che agiscono su un oggetto o sistema, riducendone l'efficienza o la qualità.
31. **Effetti nocivi derivati** - Influenze generate dall'oggetto o dal sistema stesso che ne riducono l'efficienza o la qualità.
32. **Facilità di fabbricazione** - La facilità con la quale un oggetto o sistema viene realizzato.
33. **Facilità d'uso** - La facilità con la quale un oggetto o sistema viene utilizzato.
34. **Facilità di riparazione** - La facilità con la quale un oggetto o sistema viene riportato in condizione di funzionamento dopo un guasto o un prolungato uso.
35. **Adattabilità** - L'abilità di un oggetto o sistema di riorganizzarsi per adattarsi a condizioni esterne in cambiamento (condizioni ambientali, cambiamento di funzioni, etc.)

36. **Complessità del congegno** - La quantità e la diversità degli elementi che formano un oggetto o sistema. Sono da includere anche le relazioni esistenti tra gli elementi. La complessità può inoltre includere la difficoltà incontrata nel padroneggiare l'uso di un oggetto o sistema.
37. **Complessità del controllo** - la quantità e la diversità degli elementi utilizzati per misurare o monitorare un oggetto o sistema; il costo della misurazione nel rispetto dell'errore accettabile.
38. **Livello di automazione** - La capacità di un oggetto o sistema di realizzare delle operazioni senza necessità di intervento umano.
39. **Produttività** - La relazione fra il numero di volte che un'operazione viene conclusa rispetto al tempo richiesto per farlo.

Appendice C: I 40 principi³⁵

1: Segmentazione

- a. Dividere un oggetto in 2 o più parti indipendenti.
- b. Rendere modulare un oggetto.
- c. Aumentare il grado di frammentazione di un oggetto.

Esempi:

Arredamenti componibili, componenti di computer modulari, righelli di legno ripiegabili.

Tubi di gomma da giardino di piccole dimensioni che possono essere unite per ottenere qualsiasi lunghezza sia necessaria.

2: Rimozione / Estrazione

- a. Rimuovere da un sistema una parte o proprietà "indesiderata".
- b. Isolare l'unica parte (o proprietà) necessaria di un oggetto.

Esempi:

Utilizzare una musicassetta che riproduce il richiamo di uccelli temuti dai piccioni in modo da scacciarli dagli aeroporti. (Il suono è separato dagli uccelli).

3: Condizioni locali

- a. Cambiare la struttura di un oggetto o dell'ambiente esterno (un'azione esterna) da omogenea ad eterogenea.
- b. Far svolgere a diverse parti dell'oggetto funzioni differenti.
- c. Porre ogni parte dell'oggetto nelle migliori condizioni per la realizzazione del suo compito.

Esempi:

Per ridurre la polvere nelle miniere di carbone, nelle zone di trivellazione e carico del materiale viene spruzzato un cono di minuscole gocce di acqua. Tanto più le gocce sono piccole, tanto maggiore è l'effetto di abbattimento della polvere, ma gocce troppo piccole vengono facilmente spostate dall'aria. La soluzione è quella di generare uno strato di gocce grandi intorno al cono di gocce piccolissime.

Una penna ed una matita insieme in un unico oggetto.

4: Asimmetria

- a. Cambiare la forma di un oggetto da simmetrico ad asimmetrico.
- b. Se un oggetto è asimmetrico, aumentare il suo grado di asimmetria.

Esempi:

Un lato del pneumatico è più robusto dell'altro per sopportare l'impatto con il bordo strada.

Quando si scarica sabbia bagnata attraverso un ugello simmetrico, la sabbia forma un arco al di sopra dell'apertura causando un flusso irregolare. Un ugello di forma asimmetrica elimina completamente questo problema.

5. Combinazione (integrazione)

- a. Combinare nello spazio oggetti omogenei o oggetti destinati ad operazioni contigue
- b. Combinare nel tempo operazioni omogenee o contigue

Esempi:

L'elemento rotante di una scavatrice ha speciali beccucci da cui fuoriesce vapore in modo da scongelare e ammorbidire il terreno ghiacciato.

6: Multifunzionalità

- a. Far svolgere ad una parte o oggetto funzioni multiple, eliminando la necessità di altre parti.

Esempi:

Divano – letto.

I sedili dei minivan possono essere regolati in modo da permettere di sedersi, dormire, oppure di caricare oggetti.

7: Principio della “Matrioska”.

- a. Porre un oggetto dentro all'altro; porre ogni oggetto, a turno, dentro all'altro.
b. Far passare una parte nella cavità di un'altra.

Esempi:

Antenne telescopiche.

Sedie impilate una sull'altra per ridurre lo spazio di immagazzinamento

Matite con vari mine immagazzinate all'interno

Bambole russe (matrioske)

8: Compensazione di peso

- a. Compensare il peso di un oggetto unendolo con altri oggetti che hanno una forza di sollevamento.
b. Compensare il peso di un oggetto sfruttando forze aerodinamiche o idrodinamiche

Esempi:

Aliscafi

Le macchine da corsa hanno l'alettone di coda per generare deportanza.

9: Anti-azione preliminare

- a. Se è necessario eseguire un'azione, è possibile realizzare una controazione preliminare.
b. Se un oggetto deve essere messo in tensione, provocare una "anti-tensione" preliminarmente.

Esempi:

Pavimenti o colonne in cemento armato

Per rendere un albero di trasmissione più resistente, viene realizzato con diversi tubi, precedentemente torti ad un angolo calcolato.

10: Azione preliminare

- a. Effettuare in anticipo le operazioni richieste, in tutto o in parte.
b. Sistemare preventivamente gli oggetti in modo opportuno, affinché possano essere utilizzati nel miglior modo possibile e senza determinare perdite di tempo.

Esempi:

Cutter realizzato con una lama unica ma con dei pre-tagli, in modo da poter rimuovere facilmente la parte di lama usurata e ripristinare l'affilatura.

La gomma-cemento (*un adesivo ottenuto dissolvendo gomma non vulcanizzata in solventi come il benzene N.d.T.*) in bottiglia è difficile da applicare in modo uniforme. Per questo motivo viene fornita anche in nastri, in modo tale da poter applicare facilmente la quantità corretta.

11: Compensare in anticipo

- a. Predisporre in anticipo contromisure tali da compensare la bassa affidabilità di un oggetto.

Esempi:

Per prevenire il taccheggio i negozi appongono uno speciale dispositivo contenente una piccola piastra magnetizzata. La piastra deve essere smagnetizzata dal cassiere prima che il cliente possa portare la merce al di fuori del negozio,.

12: Equipotenzialità

- a. Cambiare le condizioni di sistema in modo tale da evitare la necessità di sollevare o abbassare un oggetto.

Esempi:

La buca nel pavimento, in un'officina meccanica di riparazione auto, elimina la necessità di sollevare l'auto.

13: Inversione

- a. Invece di fare l'azione dettata naturalmente dalle specifiche del problema, cercare di fare esattamente l'opposto.
- b. Rendere mobili le parti dell'oggetto, o renderne mobili le parti immobili e immobile l'ambiente esterno.
- c. Girare l'oggetto sotto sopra.

Esempi:

Pulire per abrasione degli oggetti facendo vibrare gli oggetti al posto della parte abrasiva

14: Sfericità o curvatura

- a. Sostituire parti lineari o superfici piate con parti curve, sostituire forme cubiche con forme sferiche
- b. Utilizzare rulli, palle, spirali.
- c. Passare da un movimento lineare a uno rotatorio, utilizzare forze centrifughe

Esempi:

Il mouse di un computer utilizza una sfera per trasformare un movimento lineare su un piano in un vettore

15: Dinamicità

- a. Rendere un oggetto o l'ambiente in cui si trova in grado di adattarsi in modo da fornire la performance migliore in ogni momento.
- b. Dividere un oggetto in elementi in grado di muoversi rispetto agli altri.
- c. Se un oggetto è mobile, renderlo mobile o intercambiabile.

Esempi:

Una lampada portatile può avere un raccordo flessibile fra il corpo e la lampada

16: Azioni parziali o eccessive

- a. Se è difficile raggiungere il 100% di un effetto, ottenere qualcosa di più o qualcosa di meno del 100% potrebbe semplificare il problema

Esempi:

Un cilindro è dipinto per immersione nella vernice, ma il risultato è che viene ricoperto da più vernice di quanta ne vorremmo. L'eccesso di vernice può essere rimosso con una rapida rotazione del cilindro.

Per ottenere un versamento uniforme di polvere metallica da un recipiente, la tramoggia ha uno speciale imbuto interno che viene continuamente riempito sino a trabordare, in modo da fornire una "pressione" quasi costante.

17: Cambio di dimensione

- a. Risolvere il problema di muovere un oggetto lungo una linea permettendo un movimento bidimensionale (in un piano). In modo simile, problemi relativi a movimenti di un oggetto in un piano possono essere risolti se l'oggetto può essere modificato in modo tale da permettergli un movimento nelle tre dimensioni.
- b. Utilizzare una disposizione di oggetti a più piani anziché a piano singolo.
- c. Inclinare un oggetto, posizionarlo su un lato diverso o un'altra superficie.
- d. Proiettare immagini nelle zone vicine o sulla parte opposta dell'oggetto

Esempi:

Alcune serre hanno un riflettore concavo nella zona nord della serra stessa. In questo modo viene migliorata l'illuminazione durante il giorno riflettendo la luce solare in quella parte della costruzione.

18: Vibrazioni meccaniche

- a. Fare oscillare o vibrare un oggetto.
- b. Se esiste già una vibrazione, aumentarne la frequenza anche sino all'ultrasonico.
- c. Utilizzare la frequenza di risonanza di un oggetto.
- d. Utilizzare vibrator piezoelettrici anziché meccanici.
- e. Utilizzare vibrazioni ultrasoniche in unione con campi elettromagnetici

Esempi:

Per rimuovere il gesso dal corpo senza danneggiare la pelle, la tradizionale sega a mano è rimpiazzata da un coltello a vibrazione.

La vibrazione di uno stampo per fusione durante il processo di riempimento migliora il flusso di materiale e le proprietà strutturali.

19: Azione periodica

- a. Invece di un'azione continua utilizzare azioni periodiche o pulsanti.
- b. Se un azione è già periodica, cambiare la frequenza.
- c. Utilizzare pause tra impulsi per eseguire altre azioni.

Esempi:

L'uso di una pistola pneumatica permette di svitare più facilmente bulloni bloccati rispetto ad una normale chiave inglese, usando impulsi invece che una forza continua.

Una lampada per emergenze lampeggia in modo da essere più visibile.

20: Continuità di azioni utili

- a. Effettuare operazioni senza sosta; far lavorare tutte le parti di un oggetto a pieno regime per tutto il tempo.
- b. Eliminare tutte le azioni inutili o intermedie.

Esempi:

Una trivella può avere punte che consentono la foratura in avanti e all'indietro.

21: Accelerare i tempi

- a. Compiere un'operazione negativa o pericolosa ad alta velocità.

Esempi:

Un cutter per tubi di plastica con pareti molto sottili agisce ad alta velocità in modo da prevenire la deformazione dei tubi (taglia prima che i tubi abbiano la possibilità di deformarsi).

22: Convertire le azioni negative in positive

- a. Utilizzare fattori o effetti negativi di un sistema per ottenere un effetto positivo
- b. Eliminare l'azione nociva combinandola con un'altra azione nociva.
- c. Amplificare un fattore nocivo ad un livello tale che non sia più nocivo.

Esempi:

La sabbia e la ghiaia congelano in un blocco unico quando sono trasportate in posti freddi. Il congelamento estremo (usando azoto liquido) rende molto fragile il ghiaccio, permettendo quindi lo scarico del materiale.

Quando si utilizza corrente ad alta frequenza per riscaldare i metalli, solo lo strato esterno viene effettivamente riscaldato. Questo effetto negativo è ora utilizzato per trattamenti superficiali.

23: Feedback

- a. Introdurre un feedback.
- b. Se il feedback è già utilizzato, invertitelo.

Esempi:

La pressione dell'acqua di un acquedotto è mantenuta costante misurando la pressione in uscita e accendendo una pompa in caso di bassa pressione.

In un processo, il peso dell'acqua e del ghiaccio devono essere misurati separatamente, ma devono essere combinati per ottenere un peso totale esatto. A causa delle difficoltà per apportare la quantità esatta di ghiaccio, questa viene misurata precedentemente. Il peso del ghiaccio è poi comunicato al sistema di controllo dell'acqua, che dosa esattamente la quantità di acqua necessaria.

Gli strumenti per la rimozione dei disturbi campionano i segnali-rumore, gli cambiano fase e li reintroducono modificati per cancellare l'effetto della fonte di rumore.

24: Intermediario

- a. Utilizzare un oggetto che faccia da intermediario per trasferire o realizzare un'azione.
- b. Unire temporaneamente un oggetto con un altro che può essere poi facilmente rimosso.

Esempi:

Per ridurre le perdite di energia quando si applica corrente al metallo liquido, utilizzare elettrodi raffreddati e metalli liquidi, con una temperatura di fusione inferiore, come intermediari.

25: Self-service

- a. Rendere un oggetto auto-sufficiente, auto-riparante, facendogli svolgere anche azioni utili ausiliarie.
- b. Utilizzare risorse, energia o sostanze di scarto.

Esempi:

Per distribuire un abrasivo in modo uniforme sulla superficie di rulli e per prevenire l'usura dell'alimentatore di materiale abrasivo, la superficie dell'alimentatore è realizzata con lo stesso materiale dell'abrasivo.

In una pistola per saldatura elettrica, l'elettrodo viene fatto avanzare da uno speciale meccanismo. Per semplificare il sistema, l'elettrodo viene fatto avanzare da un solenoide alimentato dalla stessa corrente di saldatura.

26: Uso di copie

- a. Utilizzare copie semplici o poco costose al posto di oggetti complessi, costosi, fragili o non facili da utilizzare
- b. Rimpiazzare un oggetto, o un processo con copie ottiche o immagini (eventualmente in scala per ridurre o ingrandire l'immagine)
- c. Se state già utilizzando copie ottiche visibili, utilizzate copie a infrarossi o ultravioletti.

Esempi:

L'altezza di oggetti alti può essere determinata misurando la loro ombra.

27: Oggetti economici, a vita corta

- a. Rimpiazzare un oggetto costoso con diversi oggetti a basso costo, accettando compromessi in taluni aspetti (come la vita operativa per esempio).

Esempi:

Pannolini usa e getta.

Una trappola per topi consiste di un tubo di plastica contenente un'esca. Il topo entra nella trappola attraverso un'apertura conica. Le pareti curve non consentono al topo di uscire

28: Sostituzione di sistemi meccanici

- a. Sostituire un sistema meccanico con uno ottico, acustico, basato sugli odori
- b. Utilizzare un campo elettrico, magnetico o elettromagnetico per interagire con l'oggetto.
- c. Cambiare i campi
- d. Utilizzare un campo insieme a particelle ferromagnetiche.

Esempi:

Campi stazionari sostituiti con campi mobili.

Campi fissi diventano campi che cambiano con il tempo.

Campi non strutturati diventano strutturati.

Per rafforzare l'unione di uno strato di metallo ad un materiale termoplastico, il processo è svolto all'interno di un campo elettromagnetico in modo da applicare forza al metallo.

29: Uso di gas e di liquidi

- a. Utilizzare gas e parti liquide di un oggetto invece di parti solide. Queste parti possono utilizzare aria o acqua per essere gonfiate o utilizzare ammortizzatori ad aria o a liquido.

Esempi:

Per aumentare il tiraggio di una ciminiera industriale, viene installato un tubo a spirale con degli ugelli. Quando l'aria fuoriesce dagli ugelli, si crea una sorta di muro d'aria che riduce la resistenza.

Per spedire prodotti fragili, vengono usati contenitori con bolle d'aria o materiali simil-schiuma.

30: Membrane e pellicole

- a. Sostituire le normali strutture con membrane flessibili e film sottili
- b. Isolare l'oggetto dall'ambiente esterno utilizzando involucri flessibili e film sottili.

Esempi:

Per prevenire la perdita d'acqua data dall'evaporazione dalle foglie delle piante, viene applicato uno spray di polietilene. Il polietilene si indurisce e la crescita delle piante migliora perché il film di polietilene permette più facilmente il passaggio di ossigeno rispetto a quello del vapore acqueo.

31: Materiali porosi

- a. Rendere un materiale poroso o aggiungere elementi porosi (inserti, coperture, etc.)
- b. Se un oggetto è già poroso, utilizzare i pori per introdurre preventivamente delle sostanze

Esempi:

Per evitare di dover pompare del liquido di raffreddamento, alcune parti della macchina sono dotate di materiale poroso inzuppato di liquido di raffreddamento che evapora durante l'attività della macchina, fornendo un raffreddamento uniforme.

Principio 32: Cambiare le proprietà ottiche

- a. Cambiare il colore di un oggetto o dell'ambiente circostante.
- b. Cambiare la trasparenza di un oggetto o dell'ambiente circostante.
- c. Usare additivi colorati per osservare oggetti o processi altrimenti difficili da vedere.
- d. Se tali additivi sono già in uso, utilizzare segnalatori luminescenti o elementi di segnalazione.

Esempi:

Una benda trasparente consente di controllare lo stato di una ferita senza dover rimuovere il bendaggio.

In una acciaieria, un velo di acqua è utilizzato per proteggere i lavoratori dal sovrariscaldamento. Ma questo velo protegge solo dai raggi infrarossi, lasciando passare la luce intensa dell'acciaio fuso. Un colorante viene aggiunto all'acqua per creare un effetto filtro, lasciando comunque trasparente il velo d'acqua.

33: Omogeneità

- a. Fare interagire gli oggetti con altri oggetti del medesimo materiale, o con un materiale con proprietà simili.

Esempi:

La superficie per un alimentatore per materiale abrasivo è fatta dello stesso materiale che scorre nell'alimentatore, consentendo una continua reintegrazione della superficie senza doverla rimuovere.

34: Consumare e rigenerare

- a. Dopo che hanno compiuto la loro funzione o sono diventate inutili, rimuovere le parti di un oggetto (attraverso dissoluzione, evaporazione,...)
- b. Ripristinare direttamente ogni elemento consumato di un oggetto.

Esempi:

I bossoli sono automaticamente espulsi dopo che l'arma ha sparato.

Razzi orbitali che si separano dopo che hanno compiuto la loro funzione.

35: Cambiamento di parametri

- a. Cambiare lo stato di aggregazione di un oggetto, la densità, il grado di flessibilità o la temperatura.

Esempi:

In un sistema per materiali fragili, la superficie della coclea di alimentazione è realizzata in un materiale elastico con due eliche. Per controllare il processo, il passo della vite può essere cambiato anche da remoto.

36: Cambiamento di stato

- a. Utilizzare i fenomeni che si riscontrano durante la transizione di fase. Ad esempio il cambiamento di volume, il rilascio o l'assorbimento di calore.

Esempi:

Per realizzare tubazioni nervate o con forme complesse, vengono riempite con acqua e raffreddate fino alla temperatura di congelamento.

37: Dilatazione termica

- a. Utilizzare la dilatazione o la contrazione termica dei materiali.
- b. Utilizzare diversi materiali con diversi coefficienti di dilatazione termica.

Esempi:

Per controllare l'apertura delle finestre sul tetto di una serra, vengono connesse alle finestre delle lamine bi-metalliche. Con un cambio di temperatura, le lamine si piegano facendo aprire o chiudere le finestre.

Principio 38: Forti ossidanti

- a. Rimpiazzare l'aria comune con aria arricchita di ossigeno.
- b. Rimpiazzare aria arricchita di ossigeno con ossigeno puro.
- c. In ossigeno o in aria, trattare il materiale con radiazioni ionizzanti
- d. Utilizzare ossigeno ionizzato.

Esempi:

Per ottenere più calore da una torcia, viene fornito ossigeno alla torcia stessa invece di aria presente nell'atmosfera.

39: Atmosfera inerte

- a. Rimpiazzare un ambiente normale con uno inerte.
- b. Realizzare un processo sotto vuoto

Esempi:

Per prevenire l'incendio del cotone nei magazzini, esso viene trattato con gas inerte durante il trasporto all'area di deposito.

40: Materiali compositi

- a. Sostituire un materiale omogeneo con un materiale composito.

Esempi:

Le ali degli aerei militari sono realizzate in materiali compositi per avere un peso ridotto e un'elevata robustezza.

Appendice D: i 40 principi ordinati per frequenza di utilizzo³⁶

Tabella 2: I 40 principi solutivi TRIZ

- 35 Cambiamento di parametri
- 10 Azione preliminare
 - 1 Segmentazione
- 28 Sostituzione di sistemi meccanici
 - 2 Rimozione / estrazione
- 15 Dinamicità
- 19 Azione periodica
- 18 Vibrazioni meccaniche
- 32 Cambiare le proprietà ottiche
- 13 Inversione
- 26 Uso di copie
 - 3 Condizioni locali
- 27 Oggetti economici, a vita corta al posto di oggetti durevoli ma costosi
- 29 Uso di gas e liquidi
- 34 Consumare e rigenerare
- 16 Azioni parziali o eccessive
- 40 Materiali compositi
- 24 Intermediario
- 17 Cambio di dimensione
 - 6 Multifunzionalità
- 14 Sfericità o curvatura
- 22 Convertire le azioni negative in positive
- 39 Atmosfera inerte
 - 4 Asimmetria
- 30 Membrane e pellicole

- 37 Dilatazione termica
 - 36 Cambiamento di stato
 - 25 Self-service
 - 11 Compensare in anticipo
 - 31 Materiali porosi
 - 38 Forti ossidanti
 - 8 Compensazione di peso
 - 5 Unione/Combinazione
 - 7 Principio della "Matrioska".
 - 21 Accelerare i tempi
 - 23 Feedback
 - 12 Equipotenzialità
 - 33 Omogeneità
 - 9 Anti-azione preliminare
 - 20 Continuità di azioni utili
-

Caratteristica che peggiora Caratteristica che migliora		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Sforzo/Pressione	Forma	Stabilità – integrità di un oggetto	Robustezza/ Resistenza	Durata dell'azione di un oggetto mobile	Durata azione di un oggetto stazionario	Temperatura	Luminosità	Energia utilizzata da un oggetto mobile	Energia utilizzata da un oggetto stazionario
1	Peso di un oggetto mobile	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	Peso di un oggetto stazionario	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		18, 19, 28, 1
3	Lunghezza di un oggetto mobile	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19		10, 15, 19	32	8, 35, 24	
4	Lunghezza di un oggetto stazionario	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26		1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25		
5	Area di un oggetto mobile	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3		2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	
6	Area di un oggetto stazionario	10, 15, 36, 37		2, 38	40		2, 10, 19, 30	35, 39, 38			
7	Volume di un oggetto mobile	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4		34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	
8	Volume di un oggetto stazionario	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15		35, 34, 38	35, 6, 4			
9	Velocità	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5		28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	
10	Forza	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2		35, 10, 21		19, 17, 10	1, 16, 36, 37
11	Sforzo/Pressione		35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27		35, 39, 19, 2		14, 24, 10, 37	
12	Forma	34, 15, 10, 14		33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	
13	Stabilità – integrità di un oggetto	2, 35, 40	22, 1, 18, 4		17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18
14	Robustezza/ Resistenza	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35		27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35
15	Durata dell'azione di un oggetto mobile	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10			19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	
16	Durata dell'azione di un oggetto stazionario			39, 3, 35, 23				19, 18, 36, 40			
17	Temperatura	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40		32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	
18	Luminosità		32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19		32, 1, 19	32, 35, 1, 15
19	Energia utilizzata da un oggetto mobile	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18		19, 24, 3, 14	2, 15, 19		
20	Energia utilizzata da un oggetto stazionario			27, 4, 29, 18	35				19, 2, 35, 32		

Caratteristica che peggiora		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		Potenza	Spreco di energia	Spreco di materia	Perdita di informazione	Spreco di tempo	Quantità di materia	Affidabilità	Accuratezza della misura	Precisione di lavorazione	Fattori negativi esterni
Caratteristica che migliora											
1	Peso di un oggetto mobile	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	1, 3, 11, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27
2	Peso di un oggetto stazionario	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37
3	Lunghezza di un oggetto mobile	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24
4	Lunghezza di un oggetto stazionario	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26,	30, 29, 14		15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18
5	Area di un oggetto mobile	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1
6	Area di un oggetto stazionario	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35
7	Volume di un oggetto mobile	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35
8	Volume di un oggetto stazionario	30, 6		10, 39, 35, 34		35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27
9	Velocità	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26		10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23
10	Forza	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5		10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18
11	Sforzo/Pressione	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37		37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37
12	Forma	4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5		14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35
13	Stabilità – integrità di un oggetto	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		35, 27	15, 32, 35		13	18	35, 24, 30, 18
14	Robustezza/ Resistenza	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1
15	Durata dell'azione di un oggetto mobile	19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28
16	Durata dell'azione di un oggetto stazionario	16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33
17	Temperatura	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2
18	Luminosità	32	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19		11, 15, 32	3, 32	15, 19
19	Energia utilizzata da un oggetto mobile	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27
20	Energia utilizzata da un oggetto stazionario			28, 27, 18, 31			3, 35, 31	10, 36, 23			10, 2, 22, 37

Caratteristica che peggiora		31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Effetti nocivi derivati	Facilità di fabbricazione	Facilità d'uso	Facilità di riparazione	Adattabilità	Complessità del congegno	Complessità del controllo	Livello di automazione	Produttività
Caratteristica che migliora										
1	Peso di un oggetto mobile	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
2	Peso di un oggetto stazionario	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
3	Lunghezza di un oggetto mobile	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
4	Lunghezza di un oggetto stazionario		15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26
5	Area di un oggetto mobile	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
6	Area di un oggetto stazionario	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
7	Volume di un oggetto mobile	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
8	Volume di un oggetto stazionario	30, 18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
9	Velocità	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	
10	Forza	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
11	Sforzo/Pressione	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
12	Forma	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
13	Stabilità – integrità di un oggetto	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
14	Robustezza/ Resistenza	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 25, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
15	Durata dell'azione di un oggetto mobile	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
16	Durata dell'azione di un oggetto stazionario	22	35, 10	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38
17	Temperatura	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
18	Luminosità	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
19	Energia utilizzata da un oggetto mobile	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35
20	Energia utilizzata da un oggetto stazionario	19, 22, 18	1, 4					19, 35, 16, 25		1, 6

Caratteristica che peggiora		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Peso di un oggetto mobile	Peso di un oggetto stazionario	Lunghezza di un oggetto mobile	Lunghezza di un oggetto stazionario	Area di un oggetto mobile	Area di un oggetto stazionario	Volume di un oggetto mobile	Volume di un oggetto stazionario	Velocità	Forza
21	Potenza	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35
22	Spreco di energia	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38
23	Spreco di materia	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40
24	Perdita di informazione	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32	
25	Spreco di tempo	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18		10, 37, 36, 5
26	Quantità di materia	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18		15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29		35, 29, 34, 28	35, 14, 3
27	Affidabilità	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3
28	Accuratezza della misura	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6		28, 13, 32, 24	32, 2
29	Precisione di lavorazione	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 23, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36
30	Fattori negativi esterni	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18
31	Effetti nocivi derivati	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22		17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40
32	Facilità di fabbricazione	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12
33	Facilità d'uso	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12		1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35
34	Facilità di riparazione	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10
35	Adattabilità	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29		35, 10, 14	15, 17, 20
36	Complessità del congegno	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16
37	Complessità del controllo	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	30, 28, 40, 19
38	Livello di automazione	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		35, 13, 16		28, 10	2, 35
39	Produttività	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2		28, 15, 10, 36

Caratteristica che peggiora		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Sforzo/Pressione	Forma	Stabilità – integrità di un oggetto	Robustezza/ Resistenza	Durata dell'azione di un oggetto mobile	Durata azione di un oggetto stazionario	Temperatura	Luminosità	Energia utilizzata da un oggetto mobile	Energia utilizzata da un oggetto stazionario
21	Potenza	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37	
22	Spreco di energia			14, 2, 39, 6	26			19, 38, 7	1, 13, 32, 15		
23	Spreco di materia	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31
24	Perdita di informazione					10	10		19		
25	Spreco di tempo	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1
26	Quantità di materia	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39		34, 29, 16, 18	3, 35, 31
27	Affidabilità	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11		11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23
28	Accuratezza della misura	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	
29	Precisione di lavorazione	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40		19, 26	3, 32	32, 2	
30	Fattori negativi esterni	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37
31	Effetti nocivi derivati	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18
32	Facilità di fabbricazione	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4
33	Facilità d'uso	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	
34	Facilità di riparazione	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16	
35	Adattabilità	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13	
36	Complessità del congegno	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15		2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28	
37	Complessità del controllo	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 39, 25	25, 34, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16
38	Livello di automazione	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9		26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13	
39	Produttività	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1

Caratteristica che peggiora		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		Potenza	Spredo di energia	Spredo di materia	Perdita di informazione	Spredo di tempo	Quantità di materia	Affidabilità	Accuratezza della misura	Precisione di lavorazione	Fattori negativi esterni
21	Potenza		10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2
22	Spredo di energia	3, 38		35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2
23	Spredo di materia	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31			15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 40
24	Perdita di informazione	10, 19	19, 10			24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23			22, 10, 1
25	Spredo di tempo	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32		35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34
26	Quantità di materia	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16		18, 3, 28, 40	13, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31
27	Affidabilità	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28	10, 30, 4	21, 28, 40, 3		32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40
28	Accuratezza della misura	3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28		24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23			28, 24, 22, 26
29	Precisione di lavorazione	32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24		32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1			26, 28, 10, 36
30	Fattori negativi esterni	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18	
31	Effetti nocivi derivati	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26	
32	Facilità di fabbricazione	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24		1, 35, 12, 18		24, 2
33	Facilità d'uso	35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39
34	Facilità di riparazione	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27		32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16
35	Adattabilità	19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13		35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10		35, 11, 32, 31
36	Complessità del congegno	20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29		6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40
37	Complessità del controllo	18, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28		22, 19, 29, 28
38	Livello di automazione	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33
39	Produttività	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23		35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24

		31	32	33	34	35	36	37	38	39
Caratteristica che peggiora		Effetti nocivi derivati	Facilità di fabbricazione	Facilità d'uso	Facilità di riparazione	Adattabilità	Complessità del congegno	Complessità del controllo	Livello di automazione	Produttività
Caratteristica che migliora										
21	Potenza	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
22	Spreco di energia	21, 35, 2, 22		35, 32, 1	2, 19		7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35
23	Spreco di materia	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23
24	Perdita di informazione	10, 21, 22	32	27, 22				35, 33	35	13, 23, 15
25	Spreco di tempo	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	
26	Quantità di materia	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27
27	Affidabilità	35, 2, 40, 26		27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
28	Accuratezza della misura	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
29	Precisione di lavorazione	4, 17, 34, 26		1, 32, 35, 23	25, 10		26, 2, 18		26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
30	Fattori negativi esterni		24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24
31	Effetti nocivi derivati						19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
32	Facilità di fabbricazione			2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
33	Facilità d'uso		2, 5, 12		12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28
34	Facilità di riparazione		1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15		7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11		34, 35, 7, 13	1, 32, 10
35	Adattabilità		1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4		15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
36	Complessità del congegno	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37		15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
37	Complessità del controllo	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28		34, 21	35, 18
38	Livello di automazione	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25		5, 12, 35, 26
39	Produttività	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	1, 28, 7, 10	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	

Appendice F: Caso studio di un problema risolto usando TRIZ³⁹: un anello di contenimento (in caso di rottura improvvisa di una ventola)

Sunto

Un turboelica per aeroplano consiste di una ventola, un convogliatore (per controllare la direzione del flusso d'aria), e un anello di contenimento corazzato in acciaio.

Il sistema è progettato per riuscire a contenere le schegge proiettate dalla rottura improvvisa dell'elica alla massima velocità. Il problema nasce dal peso eccessivo dell'anello (Figura 1).

L'uso di TRIZ ha aiutato la Allied Signal a sviluppare e brevettare un sistema più leggero.

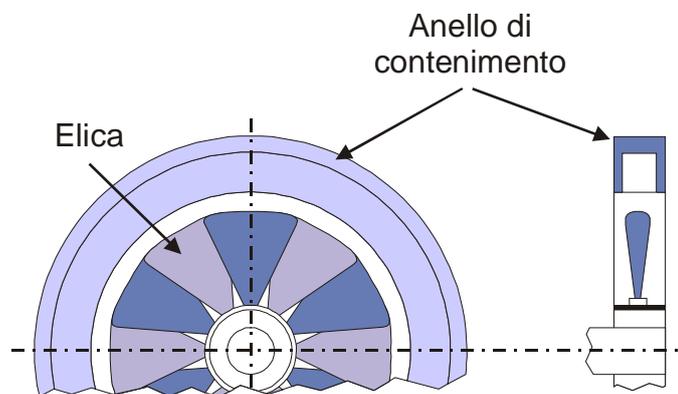


Figura 1. TRIZ ha aiutato la Allied Signal a sviluppare un anello di protezione più leggero per i propulsori a turboelica

Introduzione

Il gruppo di progettisti ha usato l'ISQ (Questionario sulla Situazione Innovativa), il "Formulatore del Problema" e alcuni strumenti TRIZ. Il questionario stabilisce l'area del problema e le risorse disponibili. Il formulatore del problema segmenta il problema principale in altri più piccoli. Gli strumenti "basati sulla conoscenza" forniscono consigli.

Il processo seguito è stato rappresentato in 5 fasi.

Fase 1. Identificare e documentare il problema

Il Questionario sulla Situazione Innovativa (ISQ) pone diverse domande che rappresentano l'inizio del cambiamento del modo tradizionale di affrontare i problemi.

Vengono di seguito riportate alcune delle domande che sono state poste. Analizzando le risorse disponibili è possibile avere nuovi punti di vista e possibilità di soluzione. Le informazioni sulle risorse dovrebbero

essere raccolte nella tabella QFD che definisce la voce del cliente. L'analisi del punto di vista del cliente ha quindi ora un nuovo ed ulteriore obiettivo: identificare le risorse disponibili per migliorare il sistema.

Ecco le risposte alle domande fatte:

Date un nome al sistema tecnologico che richiede un'innovazione e al settore al quale appartiene.

L'anello di contenimento oggetto del lavoro fa parte di una turboelica che viene utilizzato nell'industria aeronautica.

Il sistema è progettato per riuscire a contenere le schegge proiettate dalla rottura improvvisa dell'elica alla massima velocità. Il sistema è composto da un'elica, un convogliatore (per controllare la direzione del flusso d'aria), e da un anello di contenimento corazzato in acciaio.

Identificate la Funzione Utile Principale (PUF) svolta o realizzata dal sistema.

PUF: impedire che i frammenti, prodotti da una rottura improvvisa dell'elica, volino via

Indicate l'effetto negativo o il difetto.

Difetto: l'anello di contenimento è troppo pesante

Dopo quale evento o fase di sviluppo appare il problema?

A causa dell'aumento delle dimensioni degli aeroplani, sono richieste dei motori potenti. Le eliche hanno delle velocità di rotazione maggiori e quindi gli eventuali frammenti hanno un'energia cinetica maggiore. Per poterli contenere è necessario utilizzare un anello più robusto, che pertanto ha uno spessore maggiore. Un anello più spesso pesa di più.

Descrivete il meccanismo, se conosciuto, che causa l'effetto negativo.

L'anello di contenimento deve essere più resistente per contenere i frammenti. I frammenti sono prodotti dalla rottura esplosiva dell'elica. La rottura è causata dalle forze centrifughe conseguenti all'alta velocità di rotazione dell'elica stessa.

Indicate un metodo conosciuto o un qualche sistema comunemente usato, se esiste, per eliminare il problema. Spiegare perché non utilizzate o non volete utilizzare questa/e possibile/i soluzione/i.

Il metodo normale per ridurre il peso è ridurre la quantità di materiale. Questo però comporta un indebolimento dell'anello con un conseguente rischio di sicurezza.

Descrivete quali altri problemi possono essere risolti se non fosse possibile rimuovere o eliminare l'effetto negativo o l'inconveniente menzionato.

Se non fosse possibile ridurre il peso dell'anello di contenimento, si potrebbe cercare di prevenire la rottura dell'elica. Questo problema sembra però essere più difficile da risolvere rispetto a quello iniziale.

Descrivete quello che pensate sia il risultato ideale.

Idealmente non c'è alcun anello di contenimento, ma la protezione necessaria è comunque garantita.

Fase 2. Formulazione del Problema

Le risposte alle domande sulle relazioni fra gli eventi, poste secondo la logica illustrata nel Capitolo 3, Figure 1 e 2, hanno portato alla realizzazione del diagramma di Figura 2.

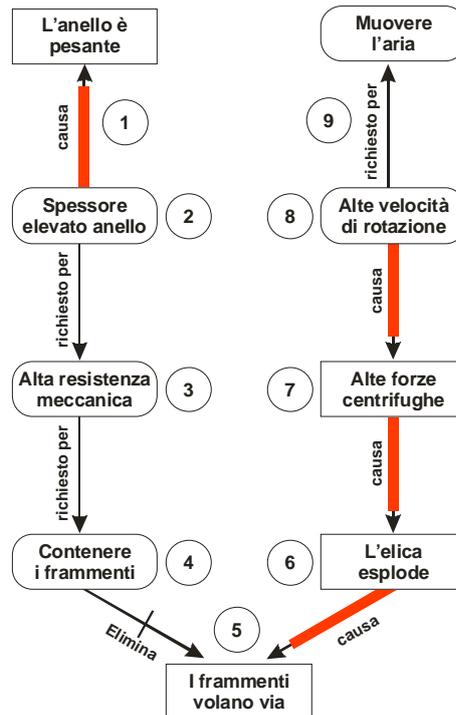


Figura 2. Il diagramma per la formulazione del problema

Di seguito trovate una lista parziale di Definizioni del Problema, correlate ad ogni nodo numerato:

1. Trovare un modo per prevenire (L'anello è pesante) sotto la condizione di (Spessore elevato dell'anello).
2. Trovare una modalità alternativa per (Spessore elevato dell'anello) che possa generare la funzione (Alta resistenza meccanica) e non causare (L'anello è pesante)
3. Trovare una modalità alternativa per (Alta resistenza meccanica) che possa generare la funzione (Contenere i frammenti) e non richieda (Spessore elevato dell'anello)
4. Trovare una modalità alternativa per (Contenere i frammenti) che possa prevenire (I frammenti volano via) e non richieda (Alta resistenza meccanica)
5. Trovare un modo per prevenire (I frammenti volano via) che non richieda di (Contenere i frammenti) sotto la condizione di (L'elica esplode)
6. Trovare un modo per prevenire (L'elica esplode) sotto la condizione di (Alte forze centrifughe)

7. Trovare un modo per prevenire (Alte forze centrifughe) sotto la condizione di (Alte velocità di rotazione)
8. Trovare una modalità alternativa per (Alte velocità di rotazione) che possa generare la funzione di (Muovere l'aria) e non causare (Alte forze centrifughe)
9. Trovare una modalità alternativa per (Muovere l'aria) che non richieda (Alte velocità di rotazione)

Fase 3. Suddivisione in categorie dei problemi dichiarati

Analizzate le Definizioni del problema, identificate le possibili direttrici solutive e selezionate quelle che sembrano essere più promettenti.

Direttrici solutive

Gruppo 1. Riprogettare l'anello di contenimento

- 1.1 Ridurre il peso dell'anello senza ridurne la resistenza meccanica.
(Definizioni del problema 1, 2, 3)
- 1.2 Trova una alternativa per assorbire i frammenti.
(Definizioni del problema 4, 5)

Gruppo 2. Operare su altre parti del sistema.

- 2.1 Trova un modo per rinforzare l'elica in modo da prevenire la possibilità di una sua rottura o per compensare le forze distruttive che ne derivano.
(Definizioni del problema 6, 7)

Gruppo 3. Problemi fuori dagli obiettivi o troppo generali (ovvero che richiedano modifiche ritenute troppo radicali del sistema esistente).

- 3.1 Sviluppare un nuovo sistema per muovere l'aria (che non utilizzi un'elica in rotazione).
(Definizioni del problema 8, 9)

Nell'esempio verranno seguite le direttrici solutive 1.1 e 1.2, appartenenti al Gruppo 1.

Fase 4 e 5. Identificare e Usare gli strumenti TRIZ.

Direttrice solutiva 1.1 - Ridurre il peso dell'anello senza ridurne la resistenza meccanica

Per la ricerca di possibili soluzioni verrà utilizzato il *Sistema di Operatori (System of Operators)*⁴⁰.

(Il System of Operators è uno strumento messo a punto dalla società di consulenza e di software TRIZ di Alla Zusman e Boris Zlotin. È uno strumento che nasce con l'obiettivo di integrare in un unico macro strumento a rete i vari strumenti di TRIZ, quali i 40 Principi, le 76 soluzioni standard, i trend evolutivi, etc. N.d.T.)

In questo caso viene raccomandato l'uso di 2 gruppi di Operatori Specializzati (Specialized Operators):

Riduzione di Peso

- Abbandonare la simmetria
- Ridurre il peso delle singole parti
- Rinforzare le singole parti

Aumentare la resistenza meccanica

- Cambiare la forma di un oggetto
- Cambiare la microstruttura di un oggetto
- Cambiare lo stato di aggregazione
- Integrazione
- Introdurre un elemento di rinforzo

Introducendo un additivo

Direttrice solutiva 1.2 - Trova una alternativa per assorbire i frammenti.

Si raccomanda di considerare i seguenti gruppi di Operatori Generali:

- Isolamento
- Isolatore – sostanze poco costose
- Isolatore – sostanze modificate ottenute dalle sostanze disponibili
- Auto-isolamento
- Introduzione di un liquido
- Isolamento selettivamente permeabile
- Uso di uno strato intermedio cedevole
- Uso della parte responsabile dell'azione indesiderata
- "protezione" durante un determinato momento

Proviamo ora a prendere in considerazione gli Operatori sopra citati, per cercare di produrre idee e soluzioni.

1. Variare lo spessore dell'anello. Ridurre lo spessore ove possibile.
2. Ridurre l'energia dei frammenti riducendo il loro peso (ad esempio fare in modo che l'elica si rompa in pezzi piccoli). In questo modo sarebbe richiesta una minore resistenza meccanica dell'anello e quindi sarebbe possibile ridurre lo spessore e il peso.
3. Usare un anello composto da più strati: anelli di rinforzo addizionali, anelli con diverse caratteristiche di durezza ed elasticità, anelli con degli interspazi vuoti, anelli con interspazi riempiti di materiale in grado di assorbire l'energia d'urto, etc.
4. Realizzare un anello sottile ma con nervature di rinforzo. Utilizzando delle nervature interne, i frammenti proiettati contro di esse perderanno gran parte della loro energia nell'impatto.
5. Trovare i punti dove solitamente l'anello cede e rinforzare solo queste parti.
6. Introdurre delle pre-tensioni nel sistema. Utilizzare ad esempio anelli aggiuntivi pre-caricati nella

direzione opposta a quella della sollecitazione che dovranno sopportare.

7. Usare trattamenti termici particolari per indurire il materiale dell'anello.
8. Realizzare l'anello in strati separati in modo tale che le linee di cedimento che si svilupperanno al loro interno non possano facilmente propagarsi.
9. Creare tensioni interne all'anello. Ad esempio utilizzando strutture fasciate, anelli doppi, etc.
10. Usare un anello con speciali trame interne, come quelle utilizzate per i giubbotti anti-proiettile.
11. Usare una schiuma o un materiale simile per assorbire l'energia, come mostrato in Figura 3.

(in TRIZ per materiale schiumoso si intende un materiale non omogeneo, caratterizzato da materiale e "non materiale". N.d.T.)

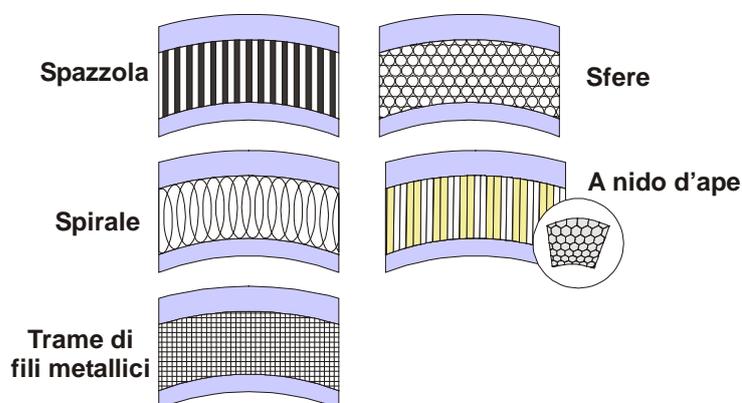


Figura 3. Un materiale di riempimento che assorbe l'energia dei frammenti

Note

È possibile notare come la maggior parte dei concepts che mirano ad incrementare la resistenza meccanica dell'anello possono essere applicati anche all'elica; ciò equivale a rinforzare l'elica di propulsione prevenendone il cedimento. Ad esempio si potrebbe cercare di utilizzare fibre di rinforzo all'interno delle pale in grado di opporsi alle distruttive forze centrifughe. Altri modi per compensare le forze centrifughe possono essere ottenute usando il gruppo di Operatori Generali denominato "Controazione".

Sono state qui indicate solo alcuni esempi indicativi delle diverse idee emerse.

Conclusioni

Dopo approfondite considerazioni, gli esperti in materia hanno deciso di brevettare un anello avente una struttura riempita di un materiale "schiumoso" (nel senso TRIZ del termine), in grado di assorbire l'impatto dei frammenti.

Appendice G: Le risorse ⁴¹

Sostanze

- Scarti
- Materie e prodotti grezzi
- Elementi del sistema
- Sostanze facilmente reperibili
- Flusso di sostanze
- Proprietà delle sostanze

Campi

- Energia nel sistema
- Energia dall'ambiente
- Basate su altre possibili fonti di energia
- Scarti del sistema divengono energia per il sistema

Spazio

- Spazio vuoto
- Altra dimensione
- Sistemazione in verticale
- Mettere un oggetto nell'altro

Tempo

- Pre-lavorazioni
- Programmazione
- Operazioni in parallelo
- Post-lavorazioni

Informazioni

- Inviata dalle sostanze
- Proprietà intrinseche degli elementi
- Informazioni dal movimento

Informazioni temporanee

Informazioni derivanti dal cambiamento di stato

Funzionali

Risorse legate alla funzione principale

Utilizzo degli effetti negativi

Utilizzo delle funzioni secondarie

Glossario

AHP: l'Analytic Hierarchy Process è un metodo per classificare degli elementi, eventi o opzioni usando la comparazione "uno a uno". I confronti uno a uno sono strutturati in modo da fornire dati di proporzione; questi dati sono necessari per fare dei calcoli relativi ed essere in grado di stabilire, ad esempio, che l'opzione "A" è doppiamente desiderabile rispetto a "B".

Pensiero per analogie: il processo mentale necessario per applicare al problema in esame soluzioni già esistenti.

Anticipatory Failure Determination – AFD: un metodo per identificare ed eliminare sistematicamente i possibili problemi di un sistema, prima che si verifichino. Questo metodo, in estrema sintesi, inventa possibili modi per generare problemi e esamina la probabilità che questi accadano.

Concept solutivo: l'idea innovativa di fondo che risolve un problema inventivo (ovvero che risolve una contraddizione). I concept, per loro natura, sono non-numeriche e richiedono successivamente della buona progettazione per trasformarsi in soluzioni realizzabili.

Contraddizione: la condizione nella quale ad un sistema sono fatte due richieste contraddittorie. I termini "paradosso" o "ossimoro" possono essere utilizzati in queste situazioni.

DPE, Directed Product Evolution: il risultato della sistematica applicazione dei trend evolutivi dei sistemi tecnologici al sistema in esame, con l'obiettivo di estrapolare lo sviluppo futuro più probabile, prima che questo si realizzi, ovviamente. In realtà si "inventa sistematicamente il futuro". Attraverso questo processo è possibile raggiungere sistematicamente posizioni dominanti di mercato e di protezione brevettuale.

Direct Product Improvement: migliora un sistema spingendo la sua innovazione verso l'idealità.

Idealità: l'idealità è una stima qualitativa definita come la somma delle funzioni positive di un sistema divisa per la somma delle caratteristiche indesiderate (svantaggi). Il sistema ideale ha o fornisce tutte le caratteristiche desiderate senza nessuno svantaggio. L'uso delle risorse esistenti insieme alla conoscenza degli effetti fisici, chimici, geometrici, etc. rende possibile il raggiungimento dell'ideale.

Problema inventivo: un problema che contiene almeno una contraddizione e per il quale non si conosce una soluzione.

Livelli di innovazione: la suddivisione delle soluzioni in 5 livelli utilizzata in TRIZ: Livello 1 - soluzioni standard, Livello 2 – miglioramenti, Livello 3 – innovazioni, Livello 4 – invenzioni, Livello 5 – scoperte.

Trend evolutivi dei sistemi tecnologici: la raccolta TRIZ di modelli che documentano la ricorrenza storica di forti tendenze nello sviluppo dei sistemi creati dall'uomo. Questi modelli possono virtualmente essere applicati ad ogni sistema, per capire quale sarà il suo probabile futuro e per accelerare la realizzazione di quel futuro.

Contraddizione fisica: una contraddizione nella quale alcuni elementi di un sistema sono soggetti a richieste opposte.

Risorse: le risorse sono gli elementi del sistema o dell'ambiente e i loro attributi, le fonti di energia (calore, elettricità, magnetismo, movimento, etc.) all'interno o intorno al sistema (accessibili dal sistema) che possono essere utilizzate dal sistema stesso per muoversi verso l'idealità.

Soluzioni standard: la piattaforma di conoscenza TRIZ comprende una lista di contraddizioni e le loro soluzioni, a livello astratto, oltre alle tipiche risorse utilizzate nell'implementazione delle soluzioni che sono state realizzate con successo in passato.

Super effetto: un vantaggio aggiuntivo imprevisto risultante dal miglioramento del problema originale

Contraddizione tecnica: una contraddizione nella quale un miglioramento desiderato di una caratteristica del sistema porta al deterioramento di un'altra.

TRIZ: la Teoria per la Soluzione dei Problemi Inventivi è il risultato di oltre 50 anni di ricerca e sviluppo fatto nella ex Unione Sovietica da Genrich Altshuller e dai suoi collaboratori.

Riferimenti

Prefazione

1. Von Oech, R., *A Whack On The Side Of The Head*, Warner Book, New York, 1983.
2. Herrmann, N., *The Creative Brain*, Brain Books, Lake Lure, NC, 1988.
3. Ribaut, A., traduzione russa da *Typography of Y. N. Erlich*, St. Petersburg, 1902.
4. Altshuller, G. S., appunti di conferenze, 1970.

Capitolo 1

5. Pugh, S., *Total Design – Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison-Wesley, Reading MA, 1991.
6. Taguchi, G., *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization, Yokuo, 1983.
7. Altshuller, G.S., *Creativity as an Exact Science*, Gordon and Breach, New York, 17, 1988.
8. Gordon, W.J.J., *Synergetics*, Harper & Row, NY, 1961.
9. Edison, T.A., citazione del 1903, in *Harper's Monthly Magazine*, 79, 6 Settembre 1932
10. Altshuller, G.S., Shapiro, P.B., "On the psychology of inventive creativity" (in russo), *Voprosy Psikhologii (Domande di Psicologia)*, 6, 37-49, 1956.
11. Shapiro, R.B., *Expulsion of the seraph of creativity*, Editrice Statale per la Letteratura Infantile del Ministero della Cultura Russo (Detgiz) Mosca, 1961.
12. Braham, J., *Inventive ideas grow on "TRIZ"*, *Machine Design*, 60, 12 Ottobre 1995.
13. *Ideation Methodology: Appunti del Corso*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1997.
14. Bar-El, Z., *TRIZ methodology*, *The Entrepreneur Network Newsletter*, May 1996.
15. Altov, H. (pseudonimo di Altshuller, G. S.) tradotto da Lev Schulyak, *And Suddenly The Inventor Appeared*, Technical Innovation Centre, Auburn, MA, 1994.
16. Osborne, A., *Applied Imagination*, Charles Scribner Sons, 1953.
17. Braham, J., *Inventive ideas grow on "TRIZ"*, *Machine Design*, 58, 12 Ottobre, 1995.
18. Kaplan, S., *An Introduction to TRIZ: The Russian Theory of Inventive Problem Solving*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1996.

Capitolo 2

19. *IWB Software*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1997.

Capitolo 3

20. *The Formulator Software*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1996.
21. *IWB Software*, Ideation International Inc., Southfield, MI.
22. Zusman, A., Terninko, J., *TRIZ/Ideation Methodology for Customer-Driven Innovation*, 8th Symposium on Quality Function Deployment, The QFD Institute, Novi, MI, Giugno 1996.

Capitolo 4

23. *Ideation Methodology: The Training Manual (4th Ed.)*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 169, 1995.

Capitolo 5

24. Killander, A. J., *Generating Electricity for Families in Northern Sweden*, Report from The Department of Manufacturing System, Royal Institute of Technology, Stoccolma, Svezia, 1996.
25. Gorin, Y., *Physical Effects and Phenomena for Inventors (Part 1)* (in russo), Baku, Russia, 1973.
26. *Physical Effects for Inventors and Innovators, 2nd Ed.* (in russo), Obninsk, Russia, 1977.
27. *Handbook of Chemistry and Physics, 73rd Ed.*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1993.

Capitolo 6

28. Ouspenski, P. D., *In Search of the Miraculous*, Hartcourt, Brace and World Inc., New York, 1949.
29. *The Golden Age of TRIZ software*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 169, 1996.

Capitolo 8

30. Herrmann, N., *The Creative Brain*, Brain Books, Lake Lure, NC, 1998.
31. Terninko, J., *Step by Step QFD: Customer-Driven Product Design*, Responsible Management Inc., Nottingham, NH, 1995.
32. Terninko, J., *Robust Design: Key Points for World Class Quality*, Responsible Management Inc., Nottingham, NH, 1989.

Appendice A

33. Altshuller, G.S., Zlotin, B., Zusman, A.V., Filatov, V.I., *Searching for New Ideas From Insight to Methodology* (in russo), Kartya Moldovneyaska, Kishinev, Moldavia 1989.
34. *Physical Effects for Inventors and Innovators, 2th Ed.* (in russo), Obninsk, Russia, 1977.

Appendice C

35. Kaplan, S., *An Introduction to TRIZ: The Russian Theory of Inventive Problem Solving*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1996.

Appendice D

36. *Ideation Methodology: The Training Manual (4th Ed.)*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1995.

Appendice E

37. *Ideation Methodology: The Training Manual (4th Ed.)*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1995.
38. *The Ideator Software*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1996.

Appendice F

39. Terninko, J., *Containment Ring Problem (Impeller Burst) Solved Using TRIZ*, 2nd Annual Total Product Developed Symposium, American Suppliers Institute/University of California, Pomona, CA, Novembre 1996.
40. *IWB Software*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1997.

Appendice G

41. *IWB Software*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1997.

Bibliografia

- Altov, H. (pseudonimo di Altshuller, G. S.), tradotto da Lev Schulyak, *And Suddenly The Inventor Appeared*, Technical Innovation Center, Auburn, MA, 1994.
- Altshuller, G. S., *Creativity as an Exact Science*, Gordon & Breach, New York, 1988.
- Altshuller, G. S., Zlotin, B. L., Zusman, A. V., Filatov, V. I., *Searching for New Ideas: From Insight to Methodology* (in Russian), Kartya Moldovenyaska, Kishnev, Moldova, 1989.
- Braham, J., *Inventive ideas grow on 'TRIZ'*, Machine Design, 56-66, Oct. 12, 1995.
- Bar-El, Z., *TRIZ Methodology*, The Entrepreneur Network Newsletter, May 1996.
- Gorin, Y., *Physical Effects and Phenomena for Inventors (Part 1)* (in Russian), Baku, Russia, 1973.
- Handbook of Chemistry and Physics, 73rd Ed.*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1993.
- Herrmann, N., *The Creative Brain*, Brain Books, Lake Lure, NC, 1988.
- Ideation Methodology: Course Notes*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1997.
- Ideation Methodology: The Training Manual, 4th Ed.*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1995.
- Kaplan, S., *An Introduction to TRIZ: The Russian Theory of Inventive Problem Solving*, Ideation International Inc., Southfield, MI, 1996.
- Killander, A. J., *Generating Electricity for Families in Northern Sweden*, Report from The Department of Manufacturing Systems, Royal Institute of Technology, Stoccolma, Svezia, 1996.
- Von Oech, R., *A Whack On The Side Of The Head*, Warner Book, New York, 1983.
- Ouspenski, P. D., *In Search of the Miraculous*, Harcourt, Brace & World Inc., New York, 1949.
- Physical Effects for Inventors and Innovators*, 2nd Ed. (in Russian), Obninsk, Russia, 1977.
- Pugh, S., *Total Design - Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1991.
- Saaty, T., *Decision Making for Leaders*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA, 1988.
- Taguchi, G., *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1983.
- Terninko, J., *Systematic Innovation: Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ/TIPS)*, Responsible Management Inc., Nottingham, NH, 1996.
- Terninko, J., *Robust Design: Key Points for World Class Quality*, Responsible Management Inc., Nottingham, NH, 1989.
- Terninko, J., *Step by Step QFD: Customer-Driven Product Design*, Responsible Management Inc., Nottingham, NH, 1995.
- Terninko, J., *Introduction to TRIZ: A Workbook*, Responsible Management Inc., Nottingham, NH, 1996.
- Terninko, J., *Containment Ring Problem (Impeller Burst) Solved Using TRIZ*, 2nd Annual Total Product Development Symposium, American Suppliers Institute/University of California, Pomona, CA, November 1996.

Zusman, A., Terninko, J., *TRIZ/Ideation Methodology for Customer-Driven Innovation*, 8th Symposium on Quality Function Deployment, The QFD Institute, Novi, MI, June 1996.

Software

Quando questo libro è stato pubblicato, c'erano solo due opzioni. Oggi ce ne sono molteplici, molto diverse per costo, efficacia, servizi e caratteristiche offerte. Per darvi un'idea della diversità di costo, esistono software da 100.000 dollari e software gratuiti.

Alcuni continuano a ritenere che il software non sia indispensabile... Buona fortuna sia per la ricerca che per la scelta.

Il software gratuito Southbeach Notation è pienamente utilizzabile per la modellazione del problema, se utilizzato coerentemente alla logica di formulazione del problema illustrata nel testo.

Copyright (©) 1996 di Responsible Management, Inc. Tutti I diritti sono riservati

La traduzione italiana di questo libro può essere riprodotta parzialmente o in toto, distribuito in ogni forma e mezzo, includendo fotocopie, registrazione o altri mezzi fisici o elettronici,

A CONDIZIONE CHE:

1. nessun testo o immagine sia alterata;
2. non sia venduto o in nessun modo scambiato per denaro;
3. non sia richiesto nessun compenso per la distribuzione e la facilitazione dei metodi;
4. il copyright e il nome degli autori e del traduttore sia incluso in ogni pagina.

È permessa la stampa e la distribuzione ad uso personale del libro.